

KATARIINA VIERO

BIOLOGIAN ISTUTTAMINEN RAKENNUSKULTTUURIIN

BIOMATERIAALIEN MAHDOLLISUUDET TULEVAISUUDEN RAKENTAMISESSA

DIPLOMITYÖ
RAKENNETUN YMPÄRISTÖN TIEDEKUNTA
TARKASTAJA: MARKKU KARJALAINEN
LOKAKUU 2020

Tampereen yliopisto

Arkkitehtuurin yksikkö

Tampere University

School of Architecture

Katariina Viero

Biologian istuttaminen rakennuskulttuuriin

Biomateriaalien mahdollisuudet tulevaisuuden rakentamisessa

Diplomityö

Tarkastaja: Associate professor Markku Karjalainen

Aihe hyväksytty tiedekuntaneuvostossa 5.6.2020

TIIVISTELMÄ

Katariina Viero: Biologian istuttaminen rakennuskulttuuriin
Biomateriaalien mahdollisuudet tulevaisuuden rakentamisessa
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Arkkitehtuurin tutkinto-ohjelma
Lokakuu 2020

Rakentamisen hiilijalanjäljen alentaminen on tulevien vuosikymmenien tärkeimpiä tavoitteita rakennusosalalla. Elinkaaren aikaisen energiankulutuksen päästöjen vähentämisen lisäksi rakennusmateriaalien hiilijalanjäljen laskeminen on ajankohtainen haaste. Haasteeseen voitaisiin vastata biomateriaaleilla. Tässä diplomityössä tutkitaan biomateriaalien mahdollisia käyttösovelluksia rakennusosalalla sekä toteutetaan teemahaastattelututkimus: biomateriaalien kulkema matka laboratoriosta rakennuskantaan.

Biomateriaalit ovat luonnonkuituja tai yksisoluisia eliöitä hyödyntäviä materiaaliyhdistelmiä, jotka ihminen on suunnitellut. Biomateriaalit saavat inspiraationsa luonnosta löytyvistä eliöistä tai biologisista prosesseista. Tätä биологиasta inspiroitumista kutsutaan biomimikaksi, jonka tutkimussuuntaus tuottaa tavanomaista tehokkaampia, ekologisempia ja kestävämpiä ratkaisuja, kuten biomateriaaleja.

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi viime vuosikymmenen tutkimustietoa, julkaisuja ja teoksia biologian inspiroitumista innovaatioista materiaalitekniikan ja energian tuotannon alalla. Tutkimustuloksien perusteella pohditaan, kuinka innovaatiota voitaisiin hyödyntää rakennuskannassa tulevaisuudessa. Pääkysymyksenä on, kuinka biologian innovaatiot voitaisiin istuttaa rakennuskulttuuriin, osaksi suunnittelua ja toteutusta.

Teoriaosuuden lisäksi toteutetaan teemahaastattelututkimus. Tutkimuksen tavoitteena oli kartoittaa biomateriaalien matka laboratoriosta rakennuskantaan. Koska biomateriaalien valmistukseen ja markkinoille saattamiseen vaaditaan monialaista ammatilaistyöryhmää, haastateltiin asiantuntijoita useasta eri ammattikunnasta. Haastatteluun osallistui asiantuntijoita luonnontieteiden ja tekniikan, muotoilun, rakentamisen ja hallinnon alalta.

Teemahaastatteluiden tulosten perusteella koottiin tiekartta biomateriaalien matkalle laboratoriosta rakennuskantaan. Nelivaiheinen tiekartta erittelee vaiheet, jotka jokaisen uuden materiaalin tulee käydä läpi, jotta se voi onnistua korvaamaan fossiiliperäiset kilpailijansa ja yleistymisellään alentaa rakentamisen hiilijalanjälkeä. Vaiheiksi eriytyivät laboratoriovaihe, kaupallinen kehitystyö, hyväksyttäminen ja materiaalin istuttaminen rakennuskantaan.

Avainsanat: arkkitehtuuri, biomateriaalit, biologia, ympäristöystävällinen rakentaminen

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Katariina Viero: Implementing Biology into Construction Culture
Possibilities for biomaterials in future construction
Master of Science Theses
Tampere University
Architecture
October 2020

For the next following decades, the most important job for the field of construction is to reduce its carbon footprint. In addition to reducing carbon dioxide emissions from the building's lifecycle's energy use, the emissions from producing building materials is also a problem to focus on. Biomaterials could be a way to solve the problems regarding high carbon emissions of construction materials.

Biomaterials are designed by humans and made from natural fibers or with the help of microbes or other unicellular organisms. Biomaterials are inspired by nature's creations or processes. This inspiration is called biomimicry, which is a field of study that produces more efficient, ecological, and sustainable solutions to solve problems that humankind faces.

In this thesis we will go through the last decade's work, research, and publications on biology inspired innovations from the fields of material technology and energy production. Based on the research we will reflect how the new innovations could be used in construction and the field of architecture. The main question this thesis is asking is how biology inspired innovations could be implemented in the field of construction and design.

In addition to the theory chapter about biomaterials, a study with qualitative interviews was carried out. The goal for the study was to map out the journey that biomaterials must go through to become a part of construction development. Participants for the interviews represent different areas of work along the journey which involves professionals from natural sciences, technology, design, construction, and administration.

From the results of the qualitative interviews a roadmap for implementing biomaterials into construction was developed. The roadmap divides into four different stages that all new materials must go through to be able to replace fossil-based materials and have the possibility of reducing construction's carbon footprint. The stages came to be the laboratory phase, commercial development, legal approvals and implementing the material into construction through design and execution.

Keywords: architecture, biomaterials, biology, environmentally friendly construction

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Työtä aloittaessani oli vaikeuksia löytää ohjaajaa aiheelle, joka on oppilaitoksellani uusi ja tuntematon. Halusin kuitenkin sinnikkäästi tutkia aihetta, koska jokainen hämmentynyt kysymys teki entistä selvemmäksi, että arkkitehtuurin tutkimus tarvitsee kiinnostusta uusia materiaaleja kohtaan. Suuret kiitokset kaikille professoreille, jotka kuitenkin kannustivat työhön ryhtymiseen, vaikka eivät henkilökohtaisesti osallistuneetkaan ohjaukseen. Kiitokset ennen kaikkea ohjaajalleni Markku Karjalaiselle, joka uskalsi ottaa ohjattavakseen vähemmän tunnettua tietoa käsittelevän diplomityön. Apu akateemisissa käytännöissä tulevaisuuden tutkimusta käsittelevässä työssä oli erityisen tarpeellista ja antoi varmuutta luottaa omaan akateemiseen vaistoon. Sain myös tehdä työtä juuri niin itsenäisesti kuin halusin, mutta kysymyksille oli aina vastaus tarjolla.

Erityiskiitokset haastatteluihin osallistuneille asiantuntijoille, joita ilman tutkimus olisi jäänyt huomattavasti kapeammaksi. Olen kiitollinen jokaisen avoimesta ja innostuneesta asenteesta tutkimustani kohtaan. Vastaanotto on ollut erittäin positiivista.

Tampereella, 25.10.2020



Katariina Viero

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|--|----|
| 1. JOHDANTO | 1 |
| 1.1 BIOMIMIIKKA..... | 5 |
| 1.1.1 Väri ja puhtaus rakenteen avulla | 6 |
| 1.1.2 Keinotekoinen kasvillisuus | 8 |
| 1.2 BIOARKKITEHTUURI | 10 |
| 1.2.1 Bakteeribetonit ja -tiilet..... | 11 |
| 1.2.2 Bakteerit energianlähteenä | 15 |
| 1.2.3 Sienirihmastorakenteet | 18 |
| 1.2.4 Nanoselluloosa | 23 |
| 1.3 BIOTULOSTAMINEN | 25 |
| 1.3.1 Biokomposiitit 3D-tulostuksessa..... | 26 |
| 1.3.2 Kantasolutulostus..... | 28 |
| 1.3.3 Aineenvaihdunnallinen tulostin..... | 29 |
| 1.3.4 Tulostettu elinympäristö | 31 |
| 2. BIOMATERIAALIEN ISTUTTAMINEN..... | 35 |
| 2.1 Tutkimusmenetelmät..... | 35 |
| 2.2 Tutkimusaiheen rajaaminen | 36 |
| 2.3 Haastateltavien profilointi ja valitseminen..... | 37 |
| 2.4 Teemahaastattelut ja analyysi..... | 39 |
| 2.4.1 Kokeellisilla materiaaleilla suunnittelu | 40 |
| 2.4.2 Kokeellisilla materiaaleilla suunnittelu - nanoselluloosa..... | 45 |
| 2.4.3 Laboratoriosta kaupalliseksi tuotteeksi - biokomposiitit | 48 |
| 2.4.4 Materiaalista hyväksytyksi rakennustuotteeksi | 51 |
| 2.4.5 Ympäristömerkkien vaikutus rakentamisessa - Joutsenmerkki.... | 55 |
| 2.4.6 Suhtautuminen biomateriaaleihin | 60 |
| 3. YHTEENVETO..... | 62 |
| 3.1 Biomateriaalien mahdollisuudet rakentamisessa | 62 |
| 3.2 Matka laboratorioista rakennuskantaan..... | 63 |
| 3.3 Miten jatketaan?..... | 65 |
| LÄHTEET | 67 |
| LIITTEET | 72 |

LYHENTEET JA KÄSITTEET

| | |
|-------------------------------|--|
| 3D | Kolmiulotteinen |
| DWoC | Design Driven Value Chains in the World of Cellulose; Selluloosan jalostustuotteita tutkiva tutkimushanke, jossa mukana oli VTT, Aalto-yliopisto, Vaasan yliopisto ja Tampereen teknillinen yliopisto. Tekes, nyk. Business Finland rahoitti projektin. |
| EU | Euroopan unioni |
| MIT | Massachusetts Institute of Technology |
| NASA | National Aeronautics and Space Administration |
| 3D-tulostus | Materiaalia lisäävä valmistamismuoto, missä tietokonemallinnettu objekti pursotetaan laitteella materiaalikerroks kerrallaan. (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy) |
| Biohajoava | Kemiallisten prosessien myötä hajoaminen vedeksi ja hiilidioksidiksi. Hajoaminen ei vaadi täysin eloperäistä ainetta. (Mikkonen, 2017) |
| Biokomposiitti | Komposiiteissa yhdistetään kahta tai useampaa materiaalia. Biokomposiiteissa vähintään yksi aine on biopohjainen. (Mikkonen, 2017) |
| Biomimetiikka/ Biomimiikka | Biologiaa ja teknologiaa hyödyntävä monitieteellinen tutkimusala, joka pyrkii ratkaisemaan käytännön ongelmia ottamalla mallia luonnossa esiintyvistä rakenteista, toiminnoista ja materiaaleista. Biomimetiikan idea perustuu siihen, että luonnossa vallitsevat rakenteet ja toiminnot ovat säilyneet evolutiivisessa paineessa ja ovat siksi optimaalisia ja tehokkaita. (Lalli & Reuter, 2016) Tässä diplomityössä käytetään termiä biomimiikka biomimetiikan sijasta. |
| Biopohjainen | Biologista alkuperää olevista, uusiutuvista materiaaleista valmistettu. (Mikkonen, 2017) |
| Biopolttoaine | "Nestemäisiä tai kaasumaisia liikenteessä käytettäviä polttoaineita. Bionesteet ovat muuhun kuin liikennettä varten tuotettuja nestemäisiä polttoaineita. Biopolttoaineet ja bionesteet tuotetaan biomassasta." (Työ- ja elinkeinoministeriö) |
| Biopolymeerit | Luonnossa esiintyvä polymeeri, esimerkiksi villa, selluloosa, tärkkelys ja erilaiset proteiinit. (Muoviteollisuus Ry) |
| Elinkaariajattelu | Ympäristövaikutusten laskussa huomioidaan tuotteen valmistuksen kaikkien vaiheiden suorat ja epäsuorat vaikutukset. Tavoitteena on selvittää tuotteen valmistuksen ja käytön kokonaisvaikutukset materiaalien valmistuksesta tuotteen kierrätykseen ja jätteenkäsittelyyn asti. (Koskela, 2013) |
| Hiilineutraalius | Hiilidioksidipäästöjä tuotetaan korkeintaan sen verran kuin niitä voidaan sitoa ilmakehästä hiiliinieluihin. (Euroopan parlamentti, 2019) |
| Kalsium- karbonaatti | esiintyy yleisesti sekä liuenneessa muodossa vesistöissä että kiinteänä maaperässä. Yleisiä esiintymismuotoja luonnossa ovat liitu, kalkkikivi ja marmori. Eliöt muodostavat luu ja kuorirakenteensa kalsiumkarbonaatista ja maaperä koostuu peräti 4 prosenttisesti kalsiumkarbonaatista. (IMA Europe) |
| Kasvihuoneilmiö | Ilmakehä toimii kasvihuoneen lasikaton tavoin lämpötilan tasoittajana, mikä mahdollistaa elämälle suotuisan lämpötilan maapallolla. Auringon säteily pääsee ilmakehän läpi lämmittämään maanpintaa, mutta vain pieni osa lämpösäteilyä pääsee pois ilmakehän läpi. Ihmisten toiminta on lisännyt kasvihuonekaasujen määrää ilmakehässä, mikä nostaa maapallon kokonaislämpötilaa. (Ilmatieteen laitos) |
| Katalyytti | Aine, joka nopeuttaa kemiallista reaktiota osallistumalla siihen. (Tieteen termipankki) |
| Kestävä kehitys | Tavoitteena on "turvata hyvät elinmahdollisuudet tuleville ja nykyisille sukupolville. Ihmisen hyvinvoinnin, talouden ja ympäristön välille pyritään löytämään tasapaino." (Maa- ja metsätalousministeriö) |
| Kiertotalous | Pyrkimys säästää luonnonvaroja ja hyödyntää materiaalit tehokkaasti ja kestävästi. Raaka-aineet pysyvät teollisuuden käytössä pitkään ja jätteet sekä ylijäämä hyödynnetään uusien tuotteiden tuottamisessa. (Maa- ja metsätalousministeriö) |

| | |
|------------------------------|--|
| Mikrobimateriaalit | Materiaaleja, joiden valmistuksessa on mukana yksisoluisia eliöitä, kuten sienisoluja tai bakteereita. Mikrobit ovat osana valmistusprosessia tai lopputuotetta. |
| Polymeerit | Orgaaninen, toistuvien rakenneyksiköiden eli monomeerien muodostama makromolekyyli. Voi olla 1- 2- tai 3-ulotteinen: suora, haaroittunut tai verkkorakenteinen. (Muoviteollisuus Ry) Muovit, niin biopohjaiset kuin fossiiliperäisetkin, ovat polymeerirakenteisia materiaaleja. |
| Rakennuksen energiatehokkuus | Laskettu tai mitattu energiamäärä, joka tarvitaan rakennuksen tyyppilliseen käyttöön liittyvän energiatarpeen täyttämiseen. (EU direktiivi 2010/31/EU, 2 artikla) |
| Selluloosa | Sellu tai selluloosa tarkoittaa kemiallista massaa, joka valmistetaan puusta keittämällä sitä kemikaaleissa. (Metsäyhdistys) |
| Synteettinen biologia | Uusi, nopeasti kehittyvä tieteenala, jossa rakennetaan eläviä soluja ihmisen suunnitelmien pohjalta. Kaikkea luonnosta löytyvää toiminnallisuutta voidaan käyttää hyväksi tai rakentaa eläville organismeille uusia ominaisuuksia, joiden ilmentymistä ohjaavat suunnitellut synteettiset geenit. (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, 2018) |
| Vaahtorainaus | Tavanomaista energiatehokkaampi selluloosatuotteiden valmistustekniikka. Vaahtorainatessa selluloosaseokseen lisätään ilmaa, jolloin vettä, ja sen kuivaamiseen vaadittavaa energiaa, kuluu vähemmän. Paperin valmistusprosessin alkuvaiheessa seoksessa on perinteisesti 99 prosenttia vettä ja vain yksi prosentti kuitua. Vaahtorainauksessa seokseen lisätään jopa 70 prosenttia ilmaa. (Heikkilä, 2012) |

1. JOHDANTO

Tämä diplomityö tutkii, miten viimeisen vuosikymmenen aikana syntyneitä innovaatioita biomateriaalien saralla voitaisiin hyödyntää rakennusosalalla sekä pohditaan, miten kyseiset materiaalit saataisiin osaksi rakennuskulttuuria. Rakennusalan hiilijalanjäljen pienentäminen on ajankohtainen ja kansainvälinen tavoite, jonka edistämässä biomateriaalit voivat olla merkittävässä osassa.

Biomateriaalit jakautuvat kahteen pääsuuntaukseen: biosynteettisiin ja luonnonmateriaaleihin. Luonnonmateriaaleja löytyy luonnosta sellaisenaan. Ne ovat täysin biohajoavia ja noudattavat luonnonkiertokulun kasvu- ja hajoamisprosesseja. Biosynteettisissä materiaaleissa hyödynnetään luonnosta löytyvien materiaalien ominaisuuksia muokkamalla niiden geenejä tietokoneavusteisesti. Tuloksena on ihmisten suunnittelemissa mittatilausmateriaaleja, joiden ominaisuudet vastaavat niille suunniteltuja käyttötarkoituksia.

Tässä työssä keskitytään biomateriaaleista biosynteettisiin, eli ihmisten suunnittelemiin, materiaaleihin sekä mikrobivalmisteisiin materiaaleihin, joissa yksisoluiset eliöt ovat joko osana materiaalia tai mukana valmistamassa niitä. Mikrobeilla valmistettuja materiaaleja kutsun työssäni mikrobimateriaaleiksi. Olen rajannut työstäni pois luonnonmateriaalit, kuten puu ja savi, jotta työ keskittyy ihmisten tekemiin innovaatioihin ja tieteen mahdollistamaan materiaalikehitykseen. Luonnonmateriaaleissa on myös paljon kehitettävää ja potentiaalisia uusia sovellustapoja löytyi lukuisia kirjoitusprosessin aikana, mutta karsin ne pois, jotta työ olisi eheämpi kokonaisuus.

Yhteiskunta on murroksessa, jossa kaikki tiedostavat, ettei elintapamme ole kestävä. Tämä ymmärrys on saanut aikaan uusia tavoitteita, kuten EU:n päätöksen saavuttaa hiilineutraalius EU-alueella vuoteen 2050 mennessä (Euroopan komissio, 2018). Suomen hallituksen tavoitteena on saavuttaa hiilineutraalius jo vuoteen 2035 mennessä (Ympäristöministeriö). Hiilineutraalius tarkoittaa sitä, että ilmakehään päästetään vain sen verran kasvihuonekaasuja, kuin niitä voidaan sitoa hiilinieluihin (Euroopan parlamentti, 2019).

Luonnontieteilijät, arkkitehdit ja insinöörit ovat avaintekijöitä kestävämmän tulevaisuuden rakentamisessa. Tärkein muutos kestävyys tavoittelussa ei ole kompensatio tai hiili-

päästöjen hyvitykset paremmilla teoilla, vaan muuttaa palveluiden, tuotteiden ja rakennusten tuotanto itsessään hiilineutraaleiksi tai jopa hiiltä sitoviksi, kuten luonnossa. Arkkitehdit ovat jo ottaneet askeleen kohti ympäristötietoista tulevaisuutta. Iso-Britannia oli ensimmäinen maa, joka käynnisti Architects declare -julistuksen vuonna 2019. Suomi liittyi mukaan 21. maana 29.5.2020. (Archinfo, 2020) Architects Declare -julistuksessa allekirjoittaneet arkkitehtitoimistot lupautuvat ”vastaamaan yhteiskunnan tarpeisiin maapallon ekologista kantokykyä ylittämättä”. Arkkitehdit sitoutuvat tekemään suunnitteluvaihtoehtoja, jotka vievät rakennettua ympäristöä lähemmäs jatkuvasti uusiutuvaa, suljetun kierron järjestelmää. (Finnish architects declare)

Mikään uusi innovaatio ei ole täysin valmis. Jokainen keksintö on vain välivaihe kohti uutta ja toivottavasti parempaa tuotetta. Teknologinen kehitys kuten evoluutiokin on sukupolvien saatossa tapahtuneita valintoja. Teknologian maailmassa luonnonvalintaa toteuttavat kuluttajat ja heidän kulutustottumuksensa. Ilmastonmuutosasiaa ajaessa syyttelevän sormen heristely ei tuo tuloksia. Aiempien sukupolvien tekemät ratkaisut ovat tuoneet teknologian siihen pisteeseen, että voimme korjata koituneen tuhon kokemuksen tuomilla opeilla. Teollisuuden käynnistämä teknologian kehitys on ajanut meidät siihen pisteeseen, että voimme ratkaista teollisuuden ohessa syntyneet ongelmat. Tulevaisuus on jo nyt tapahtuvissa teoissa läsnä. Sukupolveni elämäntyö on aiempien sukupolvien kehittämien kulutusketjujen muuttaminen kestäviksi, jolloin mahdollisimman vähän energiaa ja tuotteita putoaa kiertokulun ulkopuolelle.

Muutos vaatii kärsivällisyyttä ja oikeita valintoja valtioiden päättäjiltä ja kansalaisilta. Loppujen lopuksi koko moderni yhteiskunta perustuu kysynnän ja tarjonnan lakiin. Jos yksilöt suosivat hiilivapaaseen yhteiskuntaan pyrkiviä palveluja, niitä toistaiseksi edullisempien perinteisen öljy-yhteiskunnan palveluiden sijasta, tulee hiilivapaa teknologia saamaan enemmän varoja ja laskemaan hintaansa helpommin saavutettavaksi, mikä edelleen lisää hiilivapaiden palvelujen suosiota. Tämä kierre lopulta johtaa hiilivapaaseen yhteiskuntaan, missä öljy on syrjäytettyä valuuttaa. Vaikka kysyntä onkin yhtälöä määräävä tekijä, voivat valtion päättäjät kuitenkin ohjata muutosta oikeaan suuntaan antamalla hiilivapaata yhteiskuntaa tavoittelevalle tutkimukselle tukea. Rahoituksen lisäksi monialainen tutkimus tarvitsee näkyvyyttä ja kannustimia, jotka saisivat kuluttajat kiinnostumaan uusista tuotteista ja palveluista ja niiden omaksumisesta omaan elämäänsä.

Arkkitehtuurin- ja rakennusalan teknologiassa tapahtuvat muutokset ovat muihin tieteenaloihin verrattuna huomattavan hitaita. Syynä on eri alan asiantuntijoiden välinen kielimuuri, mikä hidastaa uusien innovaatioiden välittymistä ja sitä mukaa käytäntöjen muu-

tosta. Arkkitehtuurin ala on tiiviissä yhteistyössä insinöörialojen kanssa, mutta luonnon-tieteilijät ja tekniikan alan asiantuntijat tekevät liian harvoin yhteistyötä. Informaatioket-jussa on katkoksia ja prototyyppivaiheen materiaalien ja rakenteiden hidas päätyminen markkinoille saa aikaan sen, että suunnittelijat suosivat projekteissaan hyväksi todettuja ja nopeasti saatavilla olevia materiaaleja. (Kretzer, 2017, s. 17) Tehokas tieteenalojen välinen uutisointi ja tiedon levitys, voisi nopeuttaa kehitystä.

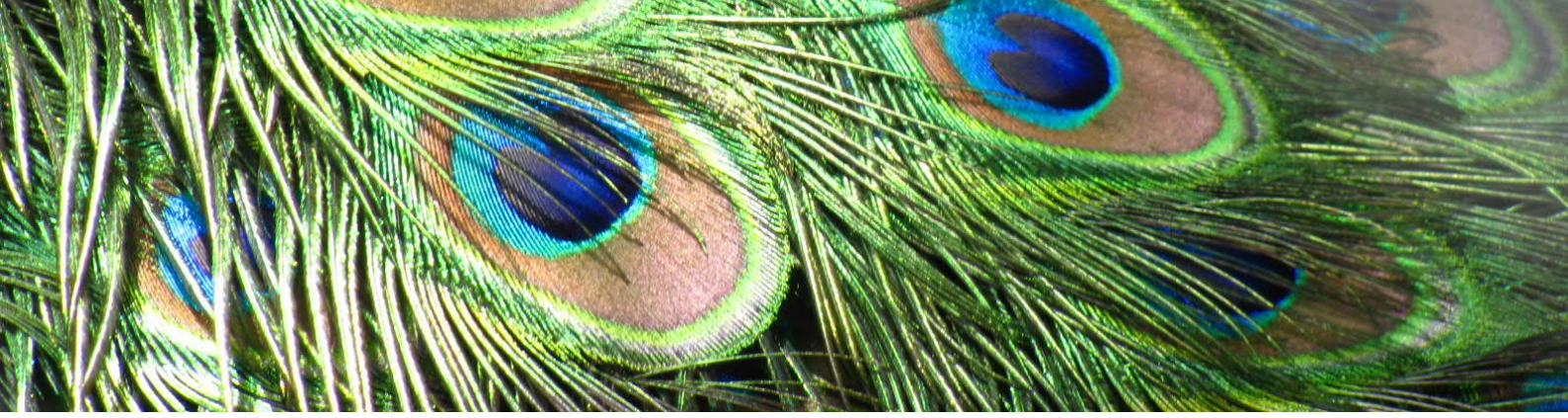
Tämä diplomityö on tarkoitettu tieteenalojen väliseksi linkiksi luonnontieteiden saavutus-ten ja rakennusalan kehityksen välille. Rakennusala on monialaosaamisen kehto, jonka kehitys vaatii jatkuvaa oppimista usealta osa-alueelta, jotta päästään eteenpäin. Kaik-kien alojen tulee pystyä muutokseen, jotta kokonaisuus pääsee kehittymään. Arkkitehti valitaan usein projekteihin pääsuunnittelijaksi, koska hän hallitsee kokonaisuuksia ja usean alan peruseriaatteita. Arkkitehdin osaaminen sisältää rakennuksen visuaalisen ilmeen suunnittelun lisäksi käyttömukavuuden ja toimivuuden huomioimisen ihmisen nä-kökulmasta. Arkkitehti myös ymmärtää peruseriaatteet rakennustekniikan ja talotekniikan tarpeista. Siksi on luonnollista, että arkkitehti on se, joka ottaa asiakseen viedä ra-kennusalan kehitystä haluttuun suuntaan eli hiilivapaaseen ja hiiltä sitovaan yhteiskun-taan.

Arkkitehdin tehtävä on löytää ongelmiin ratkaisuja. Usein ihminen ei tiedä, mitä haluaa ennen kuin näkee kaikki mahdolliset vaihtoehdot. Arkkitehdin tapa ajatella ei keskity ai-noastaan päämäärään vaan ennen kaikkea potentiaaliin. Tässä diplomityössä ei anneta valmiita vastauksia maailman parannukselle vaan korostetaan tutkimusten ja esimerk-kien osoittamia mahdollisuuksia. Diplomityö on katsaus tämän hetken monialaisten tut-kimusten tuloksiin. Diplomityössä analysoidaan tulevaisuuden rakennusalan mahdolli-suuksia biologian ja arkkitehtuurin yhdistämisestä. Tavoitteena on inspiroida rakennus-alaa kyseenalaistamaan vakiintuneet toimintatavat, tutkimusten pohjalta tehdyn analyysin avulla.

Inspiraation diplomityön aiheen tutkimukseen antoi arkkitehtien, kuten Neri Oxmanin työ bioarkkitehtuurin parissa ja teos kasvatetusta arkkitehtuurin konseptista "Built to grow: Blending architecture and biology" (Imhof & Gruber, 2017). Konsepti kasvatetuista ja muuntautumiskykyisistä rakennuksista inspiroi tutkimaan eloperäisiä materiaaleja. Elä-vien materiaalien tutkiminen johti biosynteettisiin ja mikrobimateriaaleihin, joiden käyttöä rakennuskannassa aloin pohtimaan työssäni tarkemmin. Prototyypit, joita biomateriaa-leista on valmistettu, saivat mielikuvitukseni pohtimaan tulevaisuuden rakentamista bio-logian näkökulmasta. Kyseisiä prototyyppejä esitellään diplomityön ensimmäisessä lu-vussa.

Diplomityö on jaettu kahteen lukuun. Ensimmäisessä luvussa käsitellään tutkimuksia ja innovaatioita, jotka voivat viedä rakennusalaan kohti tavoiteltavaa päämäärää eli hiilipäästöjä rakennuskantaa. Luku on jaettu kolmeen eri suuntaukseen, biomimikikkaan, bioarkkitehtuuriin ja biotulostamiseen. Jokainen suuntaus tukee toistaan, mutta lähtökohdalla on eri näkökulma. Biomimikikan luvussa käsitellään, kuinka tieteessä ja rakentamisessa voidaan ottaa mallia luonnossa tapahtuvista prosesseista ja rakenteista. Bioarkkitehtuurin luvussa keskitytään biomateriaaleihin ja niiden mahdollisuuksiin arkkitehtuurissa. Biotulostamisen luvussa käsitellään tulostaminen rakentamisen apuvälineenä biologian näkökulmasta ja pohditaan, mitä kaikkea biotulostus mahdollistaa biomateriaalien käytössä. Yhdessä nämä kolme alalukua muodostavat teoriapohjan biomateriaalien käytölle rakennuskannassa. Ensimmäisessä luvussa käytävän teorian pohjalta muodostui tutkimusongelma haastattelututkimukselle, jonka tavoitteena on selvittää, miten uudet biomateriaalit saadaan osaksi rakennuskulttuuria.

Toisessa luvussa toteutetaan asiantuntijahaastatteluja, joiden tutkimusmenetelmänä käytetään teemahaastattelua. Koska kyseessä on uusi rakentamisen konsepti, haastattelun usean eri alan asiantuntijoita: luonnontieteilijöitä, suunnittelijoita, rakennusliikkeiden edustajia ja rakentamisen hallinnon edustajia. Haastattelututkimus tutkii, miten biomateriaalit saadaan tutkimuslaboratorioista osaksi rakennuskantaa. Tuloksena on nelivaiheinen polku, joka jokaisen uuden biomateriaalin tulee kulkea, jotta se pääsisi läsnäolollaan vaikuttamaan rakennuskannan hiilijalanjälkeen.



1.1 BIOMIMIikka

Kuva 1. Riikinkukon sulat ovat pigmentiltään ruskeita. Mikro-muodot sulan rakenteessa taittavat valoa vihreäksi ja siniseksi, jolloin aivomme tulkitsee riikinkukon värikäänä.

Biomimiikka on tieteenala, jossa jäljitellään luonnossa esiintyviä järjestelmiä ja näitä bioinspiraatiosta kehitettyjä jäljitelmiä sovelletaan käytäntöön. (Iisalo, 2020) Alassa yhdistyvät biologia ja teknologia, jotka yhdessä pyrkivät ratkaisemaan käytännön ongelmia ottamalla mallia luonnossa esiintyvistä rakenteista, toiminnoista ja materiaaleista. Idea perustuu siihen, että luonnossa vallitsevat rakenteet ja toiminnot ovat säilyneet evolutiivisessa paineessa, ja ovat siksi optimaalisia ja tehokkaita. (Lalli & Reuter, 2016)

Termin "Biomimicry" käytön aloitti biologi ja tieteiskirjailija Janine Benyus. Hän julkaisi luonnon innovaatioista kirjan vuonna 1997, jonka jälkeen hän perusti biomimiikan konsulttifirman Biomimicry Institute. Biomimiikan tavoitteena on saada teknologian ja tieteen taso vastaamaan luonnossa tapahtuvaa tehokkuutta yhtä alhaisella energian kulutuksella. Luonnon oppeja soveltamalla voitaisiin tehostaa haluttua tapahtumaa tai tuotetta, mutta alentaa sen kustannuksia ympäristölle. Biomimiikka voi parantaa kiertotalouden toimintamallia ja auttaa muuttamaan fossiilienergiayhteiskunnan aurinkoenergialla toimivaksi. (Biomimicry Institute)

Luonnon esimerkkiä ja rakenteita käyttämällä voidaan saavuttaa myös arkkitehtonisia ratkaisuja, jotka kuluttavat vähemmän materiaalia ja energiaa. Arkkitehtonisen ilmaisun ei tarvitse tehdä kompromisseja, vaan se hyötyy uudeltaisesta näkökulmasta. (Pawlyn, 2010) TED-puheessaan (2010) biomimiikkaan erikoistunut arkkitehti Michael Pawlyn käsittelee materiaalien käytön optimointia. TED on konferenssitilaisuus, josta videoidut puheet levittävät innovatiivista tietoa internetin välityksellä (TED). Pawlyn käyttää puheessaan esimerkkinä lintujen onttoja luita. Ontot ja rei'itetyt rakenteet tarjoavat huolellisesti suunniteltuina saman lujuuden ja kantokyvyn kuin kiinteä vastine, mutta materiaalia käytetään kustannustehokkaammin ja säästeliäämmin. (Pawlyn, 2010) Materiaalitehokkuus on myös tärkeä näkökulma rakennuksia suunniteltaessa. Pawlyn kertoo, kuinka kasvit ja eläimet hyödyntävät auringonvaloa heijastamalla sitä ja varastoimalla sitä energiaksi. Omassa toimistotilas suunnitelmassaan hän käyttää energiaa varastoivia sälekaihtimia, auringonvaloa heijastavia kaarevia muotoja ja lasikatolla katettua keskusatriumia. Tällöin rakennus voi olla runkopaksuudeltaan 12 metriä paksumpi ja silti saada riittävää luonnonvaloa miellyttävien työtilojen tueksi. (Pawlyn, 2010)

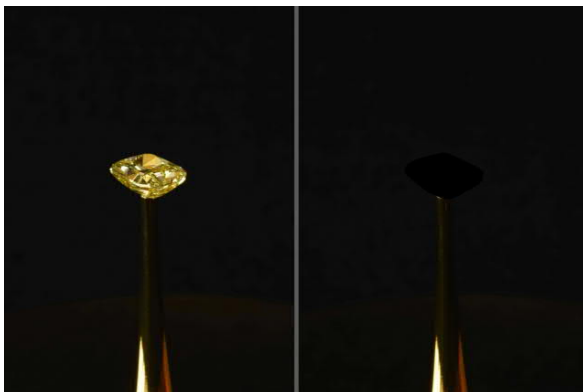


1.1.1 Väri ja puhtaus rakenteen avulla

Kuva 2. Vesi lootuslehten pinnalla koontuu vettä hylkivän pintarakenteen takia vieriviksi pisaroiksi. Lootusefektiä käytetään hyödyksi erityisesti maalipintakäsittelyissä. (Properla)

Biomimiikassa luonnossa esiintyvä eliö, sen osa tai ominaisuus voi inspiroida uusia rakenteita. Tavoitteena on saavuttaa yhä luonnonmukaisempaa, terveellisempää ja tehokkaampaa materiaalisuunnittelua. (Biomimicry Institute) Rakenne voisi korvata kemikaalit. Luonnossa värit muodostuvat nanorakenteista ja niiden valoa heijastavien pintojen väreilystä. Riikinkukon sulat ovat todellisuudessa ruskeapigmenttisiä. Värit sulassa syntyvät valon heijastumisesta rakenteen pinnalta. Sulassa on yksinkertaisia hienojakoisia rakenteita, jotka heijastavat valoa eri etäisyyksiltä ja luovat silmään illuusion väristä. Rakenteellinen väri ei haalistu eikä vaadi saastuttavia kemikaaleja, joita käytetään pigmentin valmistuksessa. Niin kauan kuin nanorakenne pinnassa säilyy, väri pysyy samana kuin valmistushetkellä (Biomimicry 3.8).

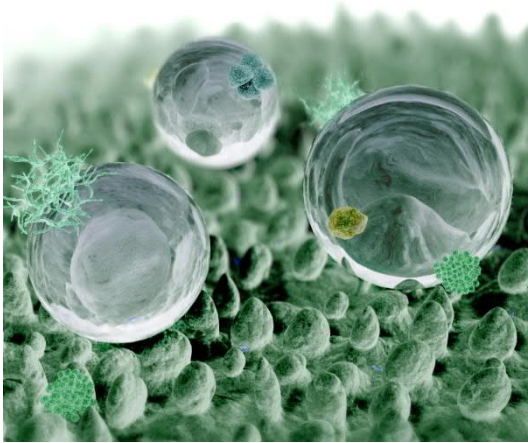
Kuva 3. MIT:ssä kehitetty musta pinnoite tekee kolmiulotteisista kappaleista litteän näköisiä, koska valoa ei heijastu ollenkaan. Vasemmalla kappaleessa ei ole pinnoitetta ja oikealla kappale on pinnoitettu nanohiiliputkimateriaalilla. (Diemut Strebe)



Nanorakenteita tutkimalla on alettu valmistaa pintamateriaaleja, jotka hyödyntävät rakenteellisen värin ominaisuuksia. MIT:ssä on keksitty 99,995 % valoa absorboiva musta väri. Se on tähän asti kehitetyistä pinnoitteista mustin. Materiaali koostuu vertikaalisesti linjatuista hiilinanoputkirakenteista, jotka eivät heijasta

valoa takaisin lähes ollenkaan rakenteensa ansiosta. Materiaalilla päällystetyt kappaleet näyttävät kaksiulotteisilta, koska musta pinnoite ei heijasta pinnan muotoa. (Chu, 2019) Mustista hiilinanoputkipinnoitteista voisi olla hyötyä auringon valolta suojautumisessa ja valaistusratkaisuja suunniteltaessa. Rakenteelliset värit voisivat olla myös huoltovaampi ratkaisu kuin tavanomaiset maalit.

Kuva 4. Visualisoitu suurennos lumpeen lehden pintatekstuuri. Vesipisarat keräävät pinnalta lian ja mikrobit ja vierittävät ne pois lehdeksi. (William Thielicke)



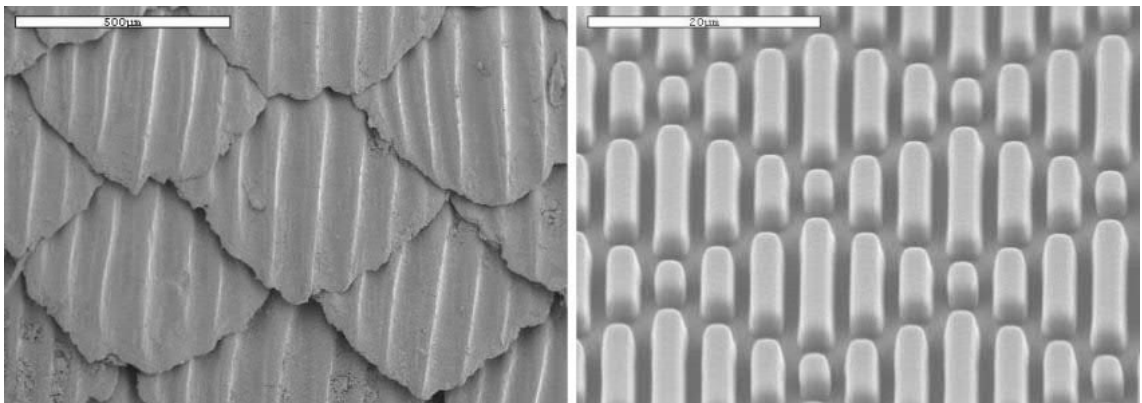
Kestävien värien lisäksi rakenteilla voidaan saavuttaa itsestään puhdistuvia pintoja. Lootusefekti on lootuskukan lehden pinnan innoittama teknologia lian ja veden hylkimiselle. Lehden vahapintainen ja epätasainen pinta kokoaa vesipisarat vieriviksi tiipoiksi, jotka pois vieriessään poimivat lehdeksi bakteerit ja lian, joka muutoin vaikeuttaisi fotosynteesiä peittäessään pintaa aurin-

gonvalolta. (Meyers, 2019) Lootusefektiä voidaan hyödyntää kattomateriaaleissa, maalinpinnoissa ja vaateteollisuudessa. Etenkin rakennuksen ulkopinnat, jotka ovat kosketuksessa sadeveden kanssa, hyötyisivät lootusmaisista materiaaleista suojautuakseen kosteudelta ja lialta. Teknologiaa hyödyntämällä on kehitetty maaleja, kuten Lotusan (Sto SEA), ja vedenpitäviä pinnoitteita (Properla), joiden pinnan tekstuuri toimii lootuslehteä mimiikoiden. Sen avulla rakennuksen pinta pysyy pidempään puhtaana ja vettä hylkivänä.

Haikalojen nahasta on kopioitu rakenne, joka hylkii bakteereja, koska se ei ole kasvualustana bakteereille suotuisa. Pintamateriaaleihin sovellettava muoto ja rakenne voivat olla ekologinen ja hyperallerginen tapa suojautua bakteereja vastaan esimerkiksi sairaalaloissa, saniteettitiloissa ja julkisissa rakennuksissa. Sharklet on patentoitu pintamateriaali, joka hylki bakteereja hain nahkaa jäljittelemällä tekstuurilla. Materiaalista on muun muassa kehitetty tarrapinnoite, joka voidaan kiinnittää ovenkahvaan ja muihin bakteereja kerääviin pintoihin. (Sharklet)

Biomimiikan alalla luonnossa esiintyvä toiminto kopioidaan ihmisen käyttöön. Tässä luvussa esitellyt esimerkit ovat vasta alkua luonnossa esiintyvistä rakenteista inspiroitu-
neesta suunnittelusta.

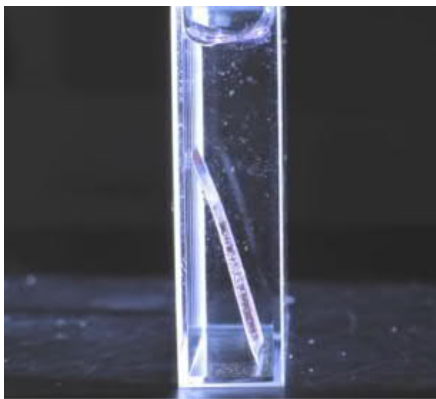
Kuva 5. Vasemmalla on suurennos hain ihon suomista. Oikealla on suurennos patentoidusta Sharklet antibakteerisesta pintatekstuuri. Tekstuuri ja kuvion muoto jäljittelee hain ihoa. (Sharklet)



1.1.2 Keinotekoinen kasvillisuus

Biomimetiikassa on paljon esimerkkejä luonnon prosessien innoittamasta teknologiasta. Fotosynteesi on suurin energian tuotannon inspiraation lähde. Keinotekoinen kasvillisuus on yksi fotosynteesin prosessista inspiraation saanut konsepti energiantuotannolle. Fotosynteesin muuntama aurinkoenergia otetaan talteen, mutta sitä tuottavat kasvien sijasta täysin keinotekoiset ja ihmisen valmistamat laitteet. Materiaalit voivat olla täysin elottomia, eloperäisiä tai hybridimateriaaleja eli elollisen ja elottoman materiaalin yhdistelmiä. MIT-yliopistossa ensimmäisenä kehitellyssä keinotekoisessa lehdessä käytettiin vain elottomia materiaaleja.

Kuva 6. MIT:ssä kehitetty Artificial leaf on metalleista valmistettu kappale, jonka vastakkaiset sivut eriyttävät vesimolekyylistä katalyyttien avulla happea ja vetyä. Happi- ja vetykaasut kuplivat vesisäiliön pintaan. (MIT News)



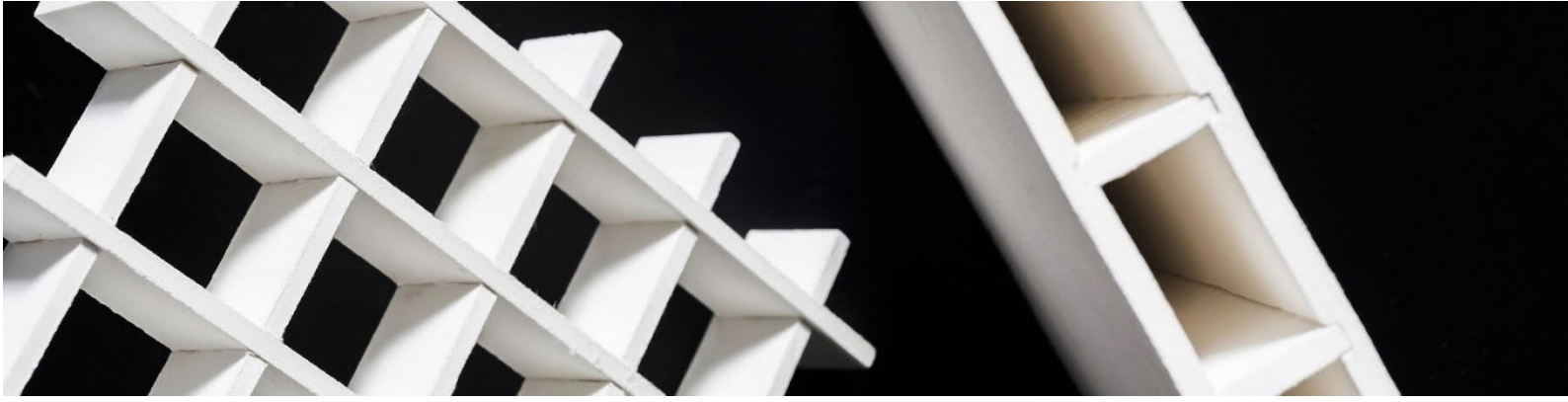
Keinotekoisien lehtien valmistamisessa onnistuttiin ensimmäisen kerran jo vuonna 2011. "Artificial leaf" on tuote, joka jakaa auringon energialla veden molekyyleistä happea ja vetyä. (Clements-Croome, 2013, s. 19) Laitteen toimintaperiaate kopioi siis kasvien fotosynteesiä. Tuotteen on kehittänyt entinen MIT-professori (nyk. Harvard) Daniel Nocera ja hänen tiiminsä. Poikkeuksellista aiempiin vastaaviin kokeiluihin on se, että tuote on täysin langaton ja se rakentuu materiaaleista, joita on helposti ja halvalla saatavilla: piistä, koboltista ja nikkelistä. Auringonvalolle altistuessaan, vesisäiliössä litteä kappale jakaa vettä toisella puolella hapeksi ja toisella vedyksi. Säiliössä muodostuvat vety- ja happikuplat voidaan varastoida erillisiin säiliöihin. Irrotettua vetyä voidaan käyttää energian tuotannossa muun muassa sähkötuotannossa polttokennon energianlähteenä. (Chandler, 2011)

Polttokennoteknologia on jatkuvasti kehittyvä teknologian ala, jonka tavoitteena on korvata fossiiliseen polttoaineeseen perustuva energiantuotanto ja liikkumismuodot. Polttokennoja voidaan käyttää joko vedyn tuottamiseen sähköenergialla tai energiantuotantoon vedyn avulla. Laite, jossa molempiin suuntiin toimiva verkosto mahdollistaa molemmat tapahtumat, voi kytkettäessä uusiutuvan energian lähteeseen kasvattaa energian tuotantoa. Esimerkiksi VTT:n kyseinen rSOC-laite tuulipuiston yhteyteen asennettuna, varastoi vetyä, joka voitaisiin muuntaa "takaisin sähköksi kulutuspiikkien aikana". Vedyn eriyttäminen on energiantuotannon kannalta tärkeää, sillä sitä voidaan käyttää monipuolisesti energian tuotannossa, mutta sitä ei esiinny maapallolla itsenäisenä komponenttina. (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy) Keinotekoinen lehti irrottaa vetyä ilman haitallisia aineita tai energiankulutusta. Aurinkoenergian hyödyntäminen on päästötöntä ja ympäristöystävällistä.

Artificial leaf -laitteen etulyöntiasemana on sen paikasta riippumattomuus. Siinä missä polttokenno vaatii ulkoisen energian lähteen, ”lehti” käyttää kaikkialla vaikuttavaa aurinkovoimaa. Näiden toimintaperiaatteiden takia kojeen soveltamista suunnitellaan erityisesti syrjäseuduille ja alueille, jotka eivät ole kiinni verkkovirrassa, esim. Kehitysmaissa. Myöhemmän kehitystyön tuloksena Nocera ilmoitti Science Dailylle, että ”kojetta voi käyttää menestyksekkäästi myös epästeriilissä, bakteereita sisältävässä vedessä”, koska sen katalyytit kykenevät korjaamaan itseään, kuten elävät organismit. (Virtanen, 2013) Tämä voisi mahdollistaa esimerkiksi sadeveden käytön energianlähteenä. Tulevaisuuden visio ”lehdelle” on toiminta aurinkopaneelien tavoin. Kotitalouksien katoille sijoitettujen paneelien tuotanto säilöittäisiin tankkeihin ja vety syötettäisiin polttokennolle aina sähköenergiaa kulutettaessa. (Chandler, 2011) Energiaomavaraisuus johdottomalla keinotekoisen lehden kaltaisella teknologialla mahdollistaisi rakennukset, jotka tuottavat auringon valosta tarvittavan energian.

Keinotekoisien lehden kaltaisia innovaatioita kehittämällä voitaisiin saavuttaa nykyistä vähäpäästöisempi maailma. Mitä kävisi, jos kyseinen lehti toimisikin täyden vesisäiliön sijasta pelkällä tilkalla vettä, kuten maaperästä juurillaan vettä imevä kasvi? Entä voisiko koje hyödyntää rakennuksen hukkavettä, jos putket asetettaisiin alttiiksi auringolle Pariisin Pompidou-keskuksen tavoin. Entä voisiko tuloksena olla rakennuksia, joiden sadevesi kootaan säiliöön, josta irrotettu happi palautetaan ilmakehään tai syötetään sisäilmaan ja vety hyödynnetään sähköntuotannossa ja siten rakennuksen ylläpidossa. Rakennuksen sisäilman happipitoisuus olisi ulkoilmaakin raikkaampaa ja energia täysin hii-livapaata. Sadekausien aikana tehostunut vedyntuotanto säilöittäisiin kuivien kesien varalle, jolloin vedyä sähköksi muuntamista tasoitettaisiin.

Yksi Noceran tiimin tavoitteista on myös kehittää keinolehteä välineeksi, jonka vetyä voitaisiin käyttää saumattomasti biopolttolaitteiden valmistuksessa tai perinteisten generaattorien sähköntuotannossa fossiilipolttoaineiden korvikkeena. (American Chemical Society, 2013) Sen sijaan, että fossiilisia polttoaineita kuluttavat koneet hylättäisiin kokonaan ja rakennettaisiin täysin uusia koneistoja ympäristöä ajattaessa, olisi ekologisinta hyödyntää olemassa olevaa infrastruktuuria, joka pyörittää nykyistä yhteiskuntaa. Jos vanha generaattori saataisiin toimimaan uusiutuvalla energialla, ei nykyistä sähköinfrastruktuuria tarvitsisi korvata valtavassa rakennushankkeessa, joka maksaa rahaa ja luonnonvaroja. Kiertotalouden periaatteen mukaista olisi käyttää vanha teknologia käyttöikänsä loppuun, muokata sen ominaisuuksia ekologisemmiksi ja korjata kunnes laite täytyy korvata. Tällöin vanhat materiaalit tulee kierrättää uutta käyttötarkoitusta varten.



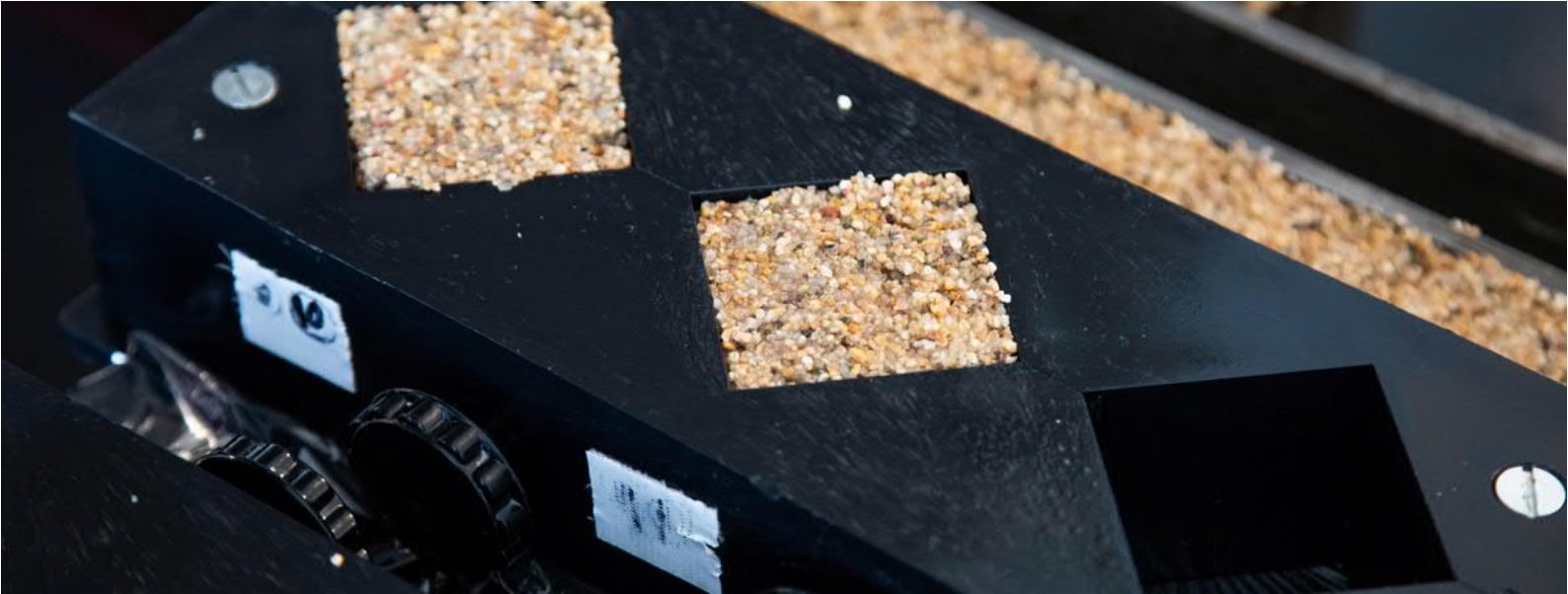
Kuva 7. DWoC-tutkimushankkeen tuloksena kehitettiin useita rakentamiseen sovellettavia käyttötarkoituksia selluloosalle. Kuvassa täysin kierrätettävä materiaali, jota voidaan käyttää seinien materiaalina, joka absorboi hyvin ääntä (Eeva Suorlahti)

1.2 BIOARKKITEHTUURI

Aiemmassa luvussa käsitelty aihe biomimiikka ja on laaja käsite, minkä alle mahtuu ratkaisuja, jotka tukeutuvat täysin keinotekoisiiin materiaaleihin tai täysin luonnonmateriaaleihin. Synteettinen biologia on uusi tieteenala, joka tuottaa materiaaliratkaisuja jossain näiden kahden ääripään välimaastossa. Luonto on inspiraation lähteenä ja myös solutasolla vahvasti läsnä biosynteettisissä materiaaleissa. Bioarkkitehtuurin luvussa käydään läpi synteettisen biologian synnyttämiä materiaaleja sekä mikrobimateriaaleja, joiden käyttö arkkitehtuurissa tuottaisi biologian ehdoilla tuotettuja rakennuksia. Käytän termiä mikrobimateriaalit kuvaamaan materiaaleja, jotka koostuvat osittain tai kokonaan yksisoluisista eliöistä tai mikrobikanta on osallistunut materiaalin valmistukseen. Tässä luvussa käsitellään bakteereilla ja sienirihmastolla valmistettuja mikrobimateriaaleja sekä selluloosan uusia käyttösovelluksia.

”Synteettisessä biologiassa yhdistyvät biologia, insinööritieteet ja tekoäly. Se tulee olemaan vahvassa roolissa kestävän kehityksen mukaisessa teollisuuden vallankumouksessa.”, kertoo Penttilä (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, 2018). Synteettisessä biologiassa rakennetaan eläviä soluja ihmisten suunnitelmien pohjalta. Solulle toivottu toiminta voi löytyä jo luonnosta valmiina tai solua manipuloimalla voidaan rakentaa solulle aivan uusia ominaisuuksia. Näitä ominaisuuksia ohjaavat synteettiset, ihmisen suunnittelemat geenit. Ihmisen kehittämällä mikrobeilla, eli yksisoluisilla eliöillä, voidaan valmistaa tietokoneavusteisesti muun muassa biomuoveja ja kemikaaleja. (Teknologian tutkimuskeskus VTT, 2018) Penttilä on osana Synbio Powerhousea, synteettisen biologian työryhmää, jonka tavoitteena on kehittää bioteknologiaan perustuvaa bisnesmaailmaa kestävämmän maailman puolesta. (Synbio Powerhouse)

Arkkitehti Neri Oxman kuvailee synteettistä biologiaa alana, joka lisää insinöörin näkökulman biologiaan. Tavoitteena on valjastaa soluja, molekyyliä ja mikro-organismeja toteuttamaan haluttuja tehtäviä. (Oxman, 2016) Teknologian kehittyessä opitaan ohjaamaan luonnonkappaleita haluttuun muotoon. Synteettisen biologian avulla voidaan luoda laadukasta ja kestävämpää arkkitehtuuria.



Kuva 8. Bakteribetonikoepalan hiekkamassa kovettuu muotissa. (Colorado Boulderin yliopisto)

1.2.1 Bakteribetonit ja -tiilet

Betonin ainesosana käytetty sementti on yksi suurimmista energiasyöpiästä maailmassa. Sitä valmistettaessa kalkkikiveä poltetaan 1 400 asteisessa uunissa. Niin korkeiden lämpötilojen saavuttaminen kuluttaa paljon energiaa ja päästää paljon hiiltä ilmakehään. (Toivonen, 2017) Jos rakennukset hyödyntäisivät kasvien tavalla auringon energiaa rakentuakseen, olisi rakennusteollisuuden hiilijalanjälki huomattavasti nykyistä pienempi. Rakennusmateriaaleja valmistettaessa tulisi pyrkiä siihen, ettei valmistus vaadi korkeissa asteissa polttamista tai suuria energiamääriä. Rakennusmateriaalien kyky korjaantua itsestään eli regeneroitua vähentäisi huoltokustannuksia ja pitäisi rakennukset käyttökelpoisina pidempään. Ympäristölleen reaktiivisia materiaaleja kehitetään kiivaaseen tahtiin ja yksi näistä esimerkeistä on bakterivalmisteinen betoni. Biosynteettisen tutkimuksen alalla erityisesti bakteereita hyödynnetään uusien biologisten funktioiden ja järjestelmien suunnittelussa, joita ei luonnossa muutoin tavata (Vähäkylä, 2018).

Colorado Boulder-yliopiston insinööri Wil Srubar tiimineen julkaisi keväällä 2020 artikkelin eläviin rakennusmateriaaleihin lukeutuvasta bakteribetonista ja biotiilistä (Heveran, et al, 2020). Itsestään korjaantuva betoni käyttää syanobakteereja eli sinileväbakteereja valmistusprosessissa ja elinkaaren aikaiseen itsensä korjaamiseen. Bakteerit kovettavat hiekkaa, ja sitovat prosessin aikana hiiltä. Syanobakteerit ovat bakteerieliöiksi poikkeuksellisia, koska ne voivat käyttää energianaan auringonvaloa. Auringonvalon energian, ravinteiden ja hiilidioksidin yhdistelmästä bakteerit muodostavat kalsiumkarbonaattia, joka kovettaa bakteribetonimassan. Vahvuudeltaan kovettunut seos vastaa simpukan kuorta. (Bushwick, 2020)

Kuva 9. Materiaalista voidaan tiiliskivien lisäksi tehdä muotilla erilaisia muotoja (Colorado Boulderin yliopisto)



Materiaalia valmistettaessa, sekoitteeseen lisätään bakteerin lisäksi merivettä vastaavaa suolavettä ja ravinteita bakteereille. Seos lämmitetään 37 asteiseksi, jonka jälkeen lisätään hiekka ja gelatiini. Gelatiini antaa seokselle bakteerikasvulle suotuisan rakenteen ja sen sulamispiste on bakteerien selviytymisen kannalta sopivan alhainen. Seos kaadetaan muottiin, missä se jäähtyy ja gelatiini asettuu. Bakteerikasvun tuotteena muodostuva kalsiumkarbonaatti

kovettaa massan yhdeksi kestäväksi kappaleeksi, jonka vahvuutta voidaan verrata betoniin. Materiaali jää prosessin jälkeen eloon, joten se kykenee korjaamaan mahdolliset viat tai murtumat itsestään. (Heveran, et al, 2020, s. 482) Kalsiumkarbonaattia esiintyy yleisesti sekä liuenneessa muodossa vesistöissä että kiinteänä maaperässä. Eliöt muodostavat luu ja kuorirakenteensa siitä, ja maaperä koostuu peräti 4 prosenttisesti kalsiumkarbonaatista. (IMA Europe)

Tutkimuksissa havaittiin, että materiaali kykenee myös kasvattamaan massaansa. Yhdestä emitiilestä onnistuttiin kasvattamaan kahdeksan uutta tiiltä, kun emitiilen massa jaettiin kahtia, ja hiekkaa ja ravinteita lisättiin tarpeeksi bakteerien kasvulle. Bakteereja ei tarvitse lisätä materiaalin kasvatusprosessin aikana, mutta niiden aineenvaihduntaa ylläpidetään lämpötilan ja kosteuden vaihteluilla. Bakteerikasvu jatkui kolmen tiilisukupolven ajan. (Heveran, et al, 2020, s. 484) Tutkimustulokset ovat osoitus rakennusmateriaalien mahdollisesta eksponentiaalisesta kasvattamisesta (Heveran, et al, 2020, s. 486).

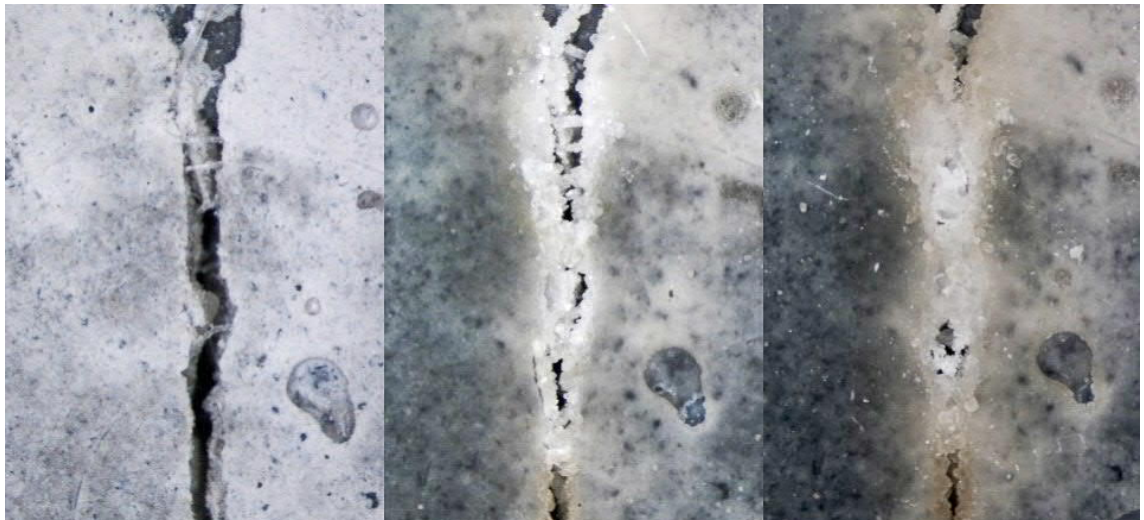
Vaikka bakteeribetonin korjautumiskykyä korostettiin, syanobakteerien elinkelpoisuus valmiissa materiaalissa jäi artikkelista kyseenalaiseksi. Testeissä huomattiin, että syanobakteeri selviää materiaalissa ja säilyttää regeneraatio-ominaisuutensa, jos materiaali jää tarpeeksi kosteaksi (Heveran, et al, 2020, s. 481). Ominaisuuksien säilymiselle optimaalinen suhteellinen kosteus on 50–100 %, mitä esiintyy maapallolla laajalti luontaisena ilmakehän kosteuteksi (Heveran, et al, 2020, s. 487). Suomessa sisäilman kosteus vaihtelee kesäisin 50–70 % välillä, mutta talvisin sisäilman kosteus on aina alle 40 % (Hengitysliitto). Elävien rakennusmateriaalien selviytyminen talvikausina lauhkealla ilmastovyöhykkeellä voi siis olla haasteellista. Rakennusmateriaalien kosteudesta puhuttaessa täytyy myös muistaa, että liiallinen kosteus on suotuisa kasvuympäristö myös ei-haluttuille yksisoluisille eliöille, kuten homesienille. Kun ilmakehän kosteus on jatkuvasti yli 70 %,

on mikrobikasvu todennäköistä (Sisäilmayhdistys ry). Syanobakteerin pitkäaikainen selviäminen vaatii vielä lisää tutkimusta ja ratkaisuja (Heveran, et al, 2020, s. 481). Bakteribetoni on silti rakennusmateriaalina poikkeuksellisen regeneraatiokykyinen ja valmistus vaatii vain 37 asteen lämpötilaa, mikä on sementin valmistuksen 1 400 asteeseen verrattaessa vallankumouksellista rakennusmateriaalille.

Materiaalin kantokyvyn ja elinvoimaisuuden välillä on ristiriita. Gelatiinisidos vahvistuu kuivuessaan, mutta bakteerit tarvitsevat kosteutta elääkseen. (Heveran, et al, 2020, s. 489) Tutkimustiimin ehdotukset materiaalin käyttötarkoituksiksi ovat väliaikaiset rakenteet, julkisivut, katukivetykset ja kevyen kuorman rakenteet (Heveran, et al, 2020, s. 490). Suurempia rakenteita voidaan rakentaa, kun ratkaistaan bakteerin eloonjäänti kuivissa olosuhteissa. Materiaali on käytännöllinen alueilla, missä on rajallinen tarjonta rakennusmateriaaleista. Hiekkaa, auringonvaloa, vettä, suolaa ja ravinteita saadaan kaikkialta maailmasta pienillä kustannuksilla. (Bushwick, 2020)

Jo ennen bakteribetonin kehittämistä oli bakteerien hyödyllisyys betonin kestävyyskannalta huomattu. Vuonna 2015 uutisoitiin mikrobiologi Henrik Jonkersin tekemästä innovaatiosta perinteisen betonin eliniän pidentämiseksi. Hän kehitti tekniikan, missä kalsiumkarbonaattilla halkeamia korjaavia bakteereja lisätään betoniseokseen valun yhteydessä. *Bacillus* bakteeri selviää vuosikymmenistä vuosisatoihin ilman ravintoa tai happea. Siksi se sopii betonin kaltaiseen karuun elinympäristöön, missä tarjolla ei ole mitään elämää edellyttävää tai kasvualustaksi kelpaavaa. (Stewart, 2016) Jonkersin biobetonissa betoniseoksen sisällä on vesiliukoissa muovikapseleissa *bacillus* bakteeria ja ravinteita. Kun halkeama betonissa päästää veden liuottamaan kapselit, alkavat bakteerit ravinteita saadessaan muodostamaan kalsiumkarbonaattia halkeaman pinnalle. (Stewart, 2016) Betoni pysyy siis pitkään kantokykyisenä, koska kalsiumkarbonaattia muodostuu betonin vaurioituneisiin kohtiin, jo ennen kuin oikeaa luhistumisriskiä on.

Kuva 10. Jonkersin bakteereilla korjautuva betoni korjasi halkeaman 56 päivän aikana (Delf University)



Viiden vuoden sisällä tapahtunut edistys vei bakteeribetonia perinteistä betonia itsestään korjaavasta tekniikasta kokonaan uudenlaiseen betonityyppiin, jonka valmistus ei vaadi ilmastoa kuormittavaa sementin valmistusta. Poistamalla sementin tuotanto kokonaan tai ainakin osittain, saataisiin rakentamisen tuotannosta kestävämpää. Betonin kaltaista materiaalia on vaikeaa korvata kokonaan rakennusalalla, koska vähintäänkin perustukset vaativat luonnonkiveä vastaavaa materiaalia tai paalutusta, jotta maan kosteus ei nouse rakennukseen. Siksi bakteeribetonin kaltaiset innovaatiot ovat tärkeä osa kestävämpää tulevaisuutta.

Bakteerivalmisteiset rakennusmateriaalit voivat myös yksinkertaistaa rakennusprosessia. USA:n ilmavoimien tutkimushanke ”Medusa” tutkii uudenlaista kiitotievalmistustekniikkaa tilanteisiin, missä betonisen kiitotien rakentaminen olisi haasteellista tai liian hidasta (Ripple, 2019). Valmistusprosessi muistuttaa monella tapaa Srubarin tiimin kehittämää bakteeribetonia. Maanpintaan istutetaan bakteereja, joita ruokkimalla maanpinta kovettuu kiitotieksi. Prototyypikokeilussa kovetettiin onnistuneesti 2 500 neliöjalan (square foot) eli 762 m² kenttä. Kokeilu osoitti sen, että päällystysmateriaaliksi kelpasi paikallinen maaperä, jonka lisäksi päällystystyö vaati vain vähän kevyitä työkaluja, ruiskun ja vesisäiliöitä. (Ripple, 2019) Kokeilun kaltainen materiaalinkäyttö vähentäisi infrarakentamisen työvoiman ja koneistojen tarvetta sekä pienentäisi päällystysmateriaalien valmistuksen päästöjä. Prototyyppi osoittaa myös, että bakteeribetonin kaltaista materiaalia voitaisiin käyttää jo nyt ulkotilojen päällystysmateriaalina tai esimerkiksi pihakivinä.

Kuva 11. USA:n ilmavoimien prototyypikokeessa ruiskutettiin ravinteita maaperään sijoitetuille bakteereille, jotka kovettivat maaperästä kiitotien. (James O'Rourke)



1.2.2 Bakteerit energianlähteenä

Energia ja sen tuotanto on tärkeä ja välttämätön osa yhteiskuntaa. Tämän takia ei riitä, että rakennuksia ja energiaa käsitellään erillisinä aihealueina, vaan energiateollisuuden ja rakennusalan tulee tehdä tiivistä yhteistyötä, jotta maailmasta tulee kestävämpi paikka asua. Biologian alalla tutkitaan bakteerien ja pieneliöiden mahdollisuuksia energiantuotannossa. Tässä luvussa kerrotaan tarkemmin sinileväkakteerien mahdollisista energiantuotannon sovelluksista.

Tyypillisen asuinkerrostalon elinkaaren päästöistä valtaosan muodostaa rakennuksen ylläpidon energiankulutus. Jotta rakennuskannasta saadaan nollapäästöistä, tulee muutos aloittaa myös energiamuotojen kehittämisessä. Rakennusten energiatehokkuuden parantuessa rakennusmateriaalien suhde rakennuksen elinkaaren aikaisissa kasvihuonekaasupäästöissä korostuu ja niiden ekologinen valmistus tulee yhä tärkeämmäksi (Ympäristöministeriö). Energia ei ole vain työväline, joka edellyttää rakennuksen ylläpidon. Se on jatkuvasti tiiviimmässä yhteistyössä ihmisen toiminnan kanssa. Siksi on tärkeää, että energian tuotannolle kehitetään kestävämpiä ja luonnonmukaisempia vaihtoehtoja. Bakteerit voivat olla tässä tärkeä apuväline.

Tulevaisuutta on aurinkoenergialla toimiva yhteiskunta. Tulevaisuuden energiateollisuutta on auringon energian tehokas muuntaminen. Haastattelin akateemikko Eva-Mari Aroa Turun yliopistosta hänen tutkimusaiheestaan fotosynteesi. Halusin kuulla häneltä itseltään lisää energian tuotannosta bakteerien avulla löydettyäni aiheen teorialueiden aikana.

Eva-Mari Aron mielestä tulevaisuuden energiamuoto on aurinkoenergia. Aro kehittää syanobakteerista energiatehdasta tähän tarkoitukseen. Hän valitsi kyseisen bakteerin tehtävänsä, koska se on maapallon yksinkertaisimpia yhteyttäviä eliöitä. Syanobakteerien tärkein ominaisuus energian tuotannossa on niiden kyky tuottaa vetyä auringonvalon voimalla. Syanobakteeri toimii katalyyttinä kemiallisessa reaktiossa, jossa veden molekyylistä erotetaan vety ja happi toisistaan. Energian lähteenä tarvitaan vain auringonvaloa. Sivutuotteena muodostuu happea. (Vähäkylä, 2018)

Sinilevänä tunnettu syanobakteeri on yksisoluinen eliö. Se on siitä poikkeuksellinen, että vaikka se ei ole tuttavallisen nimensä tavoin levälajike, se kykenee tuottamaan oman energiansa auringosta. Omavaraisen energiantuotantonsa takia laji selviytyy ankarissakin oloissa. Koska syanobakteeri kykenee kasvien tavoin fotosynteesiin, eli yhteyttämään auringonvalosta, vedestä ja hiilidioksidista itselleen ravintoa, sen oma energiankulutus on hyvin alhainen, eikä se kuluta ympäröiviä luonnonvaroja. (Luontoportti) Aro valitsi

syanobakteerin fotosynteesitutkimukseen, koska sen fotosynteesikoneisto on sama kuin suurilla kasveillakin, mutta sen genomi, eli geeniperimä, on kasvien tavoin yhteyttävistä eliöistä pienin ja aineenvaihdunta yksinkertaisin. Pienen genominsa ansiosta lajia on helppoa muunnella geneettisesti ja saada se toteuttamaan haluttua tehtävää, kuten polttoaineen tuotantoa.

Itämeressä on 80 planktista sinilevälajia. (Luontoportti) Ne asuvat meressä ympäri vuoden, mutta haitallisista ja ihmiselle myrkyllisistä sinileväkukinnoista uutisoidaan vuosittain lämpimän veden kesäkausina. Itämeri on hyvä paikka sinilevän kasvuun, joten sitä riittäisi rakennusteollisuudenkin tarpeisiin. Haastattelussa kysyin Arolta: "Voitaisiinko merien syanobakteerit hyödyntää energian tuotannossa tai materiaalinvalmistuksessa?" Aro vastasi, että kyllä voidaan, mutta se ei ole tehokkain tapa. Merien sinilevälautat ovat sekakasvustoja, jotka sisältävät useampia bakteerikantoja. Energiantuotannossa käytetään immobilisoituja eli jakautumiskyvyttömiä bakteereja. Tällöin bakteerin ainoana tehtävänä on toimia kemiallisen reaktion katalyyttinä, jonka seurauksena bakteeri tuottaa haluttua ainetta, esimerkiksi biopolttoainetta. Aro huomauttaa, että biomassan kerääminen on myös tärkeää, mutta syanobakteerin mekaaninen kerääminen olisi hankala ja kallis prosessi. Energiantuotanto on tehokkainta geneettisesti muunnelluista ja laboratorioissa kasvatetuista bakteerikannoista.

Sinileväbakteerien tuottama energia pyritään kaappaamaan mahdollisimman nopeasti fotosynteesin prosessista. Tavoitteena on kaapata energia heti, kun aurinkoenergia on muutettu kemialliseksi energiaksi. Siinä vaiheessa, kun fotosynteesi on muuttanut ener-

Kuva 12. Satelliittikuva Itämerestä heinäkuussa 2018. Sinilevälautat sijoittuvat erityisesti Suomen etelärannikoille, mutta myös avomerelle. (ESA COPERNICUS SENTINEL DATA / SYKE)



gian biomassaksi, on menetetty jo prosessissa paljon hyödynnettävää energiaa. (Vähäkylä, 2018) Aro kertoo, että fotosynteesissä on kyseessä voimakas hapettava reaktio, joka suojaamattomana tuhoaa itse itsensä hyvin nopeasti. Reaktion suojelumekanismeja on tutkittu, jotta reaktion sitoma auringon energia ei häviäisi lämpönä, vaan se saataisiin talteen. Reaktiossa auringon valo absorboituu, jonka seurauksena molekyylin elektronit siirtyvät virittyneeseen tilaan. Virittynyt elektroni sisältää aurinkoenergian täyden potentiaalin, mutta suojelumekanismit pyrkivät tasoittamaan positiiviset ja negatiiviset varaukset mahdollisimman nopeasti. Jotta virittyneen elektronin energia saataisiin talteen, se pitää saada vastaanottajalle ja stabiloivaan kemialliseen yhdisteeseen, joka pitää virittyneet positiiviset ja negatiiviset elektronit erillään.



1.2.3 Sienirihmastorakenteet

Kuva 13. NASA tutkii sienirihmaston käyttöä rakennusmateriaalina avaruusasumuskäytössä. Kuvan tiilet on valmistettu pihajätteistä, puulas-tuista ja sienirihmas-tosta. (Stanford-Brown-RISD iGEM Team 2018)

Imhof ja Gruber käsittelevät kirjassaan ”Built to Grow - Blending Architecture and Biology” aihetta arkkitehtuurin kasvattamisesta. Heidän esittämät tutkimukset rakennuksien kasvattamisesta ovat vielä teoreettisella ja kokeellisella asteella, mutta pienimuotoisten laboratoriokokeiden perusteella voidaan visioda tulevaisuuden näkymiä kasvatetuista rakennuksista. Tässä luvussa tutkitaan elävän organismin käyttöä biopohjaisen rakennusmateriaalin valmistuksessa.

Yksi kirjan tutkimuskohteista on sienirihmastorakenne, missä sienirihmasto tiivistää silputtua luonnonmateriaalia kiinteäksi kappaleeksi. Kokeisiin valittu lahottajasieniin kuuluva osterivinokas kasvaa lahottamalla orgaanista materiaalia esimerkiksi puuta tai olkea (Imhof & Gruber, 2017, s. 99–123). Luonnossa sieni kasvaa puunrungoissa, mutta sitä viljellään myös ruokasieneksi sahanpurusta ja oljesta (Varjonen, 2018).

Sienirihmasto vaatii kasvaakseen tuetun kasvualustan, kosteat olosuhteet ja lämpöä, sekä ravintoa. Ensimmäisessä kokeessa muodostettiin osterivinokkaalle seos sellulosaasta, oljesta ja ruisjyvistä. Sieni kasvoi muovipussissa tasalaatuisesti tiileksi ja kuivuttuaan sienitiili oli hajuton, mutta kutistunut noin 20 %. Sienitiilikokeen tuloksena oli materiaali, joka kevyestä painostaan huolimatta kestää hyvin puristusta ja on iskunkestävä. Sienitiili olisi tutkijoiden mielestä mahdollinen rakennusmateriaali suuremmissakin rakennusprojekteissa huolellisen tuotekehittelyn jälkeen. (Imhof & Gruber, 2017, s. 99–103)

Tiilikokeen lisäksi sienirihmaston kasvualustaksi testattiin useita erilaisia muotti ja ristikkorakenteita, kuten 3D-tulostettuja moduulimuotteja sekä ristikko- ja kehikkorakenteita. 3D-tulostuskokeessa suunniteltiin ensin kasvua tukeva muotti, joka olisi irrotettu kuivumisen aikana, mutta kävi ilmi, että tuen poistaminen ennen kuivumista jättää materiaalin

liian haavoittuvaksi (Imhof & Gruber, 2017, s. 106–108). Siksi seuraavissa kokeissa valittiin materiaaleja, jotka tukevat sienirihmaston kasvua, mutta samalla tarjoavat sienelle ravintoa. Rankamateriaaleina testattiin pahviristikkoa ja oljista punottua muottia. Kasvun myötä rakenne hajoaa ravinnosta osaksi sienirihmastoa. Tuloksena on itseään tukeva yksiaineinen rakenne. Pahviristikossa voitiin soveltaa erilaisia kolmiulotteisia muotoja. Rakenne pysyi hyvin kasassa sienirihmaston kuivumisen jälkeen. (Imhof & Gruber, 2017, s. 110–115)

Pahvin sijaan samankaltaista tekniikkaa voitaisiin soveltaa puusta rakennetulla ristikolla, koska sieni kykenee käyttämään puuta ravintonsa lähteenä. Puu kestää pidempiä jännevälejä ja suurempia kuormia kuin pahvi, joten suuren mittakaavan kohteissa, kuten rakennusprojekteissa, puunkäyttö olisi kannattavampaa. 3D-tulostuksen vapaa muodonanto olisi sovellettavissa, jos muottimateriaalina käytettäisiin biohajoavaa ja sellulosaipohjaista biokomposiittia. Tutkimusten teon aikana biokomposiitteja ei todennäköisesti ollut käytössä, koska Suomen markkinoilla tuotteesta uutisoitiin vasta 2018 (Töyssy, 2018). Lisätietoa biokomposiiteista on biotulostamisen luvusta 1.3.1.

Kun kasvualustana käytetään pehmeää ja muovailtavaa materiaalia, kuten kangasta, sienirihmaston muotoa voidaan manipuloida kasvun aikana, kunhan rakenne on vielä

Kuva 14. Kuivunut sienirihmastorakenne pahvikehikkoon sovellettuna. (Imhof & Gruber, 2017, s. 116)

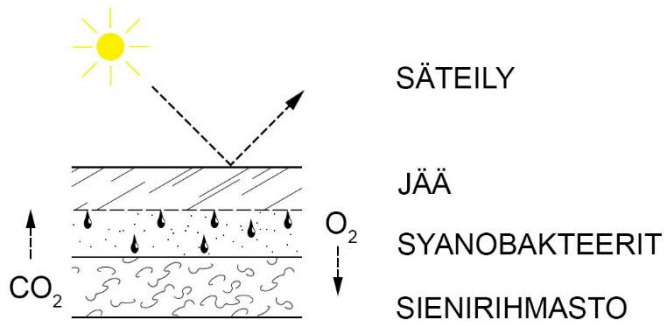


märkä. Rihmaston kuivuessa rakenne jämähtää paikoilleen. Suuressa mittakaavassa tällä tekniikalla voidaan kasvattaa vapaita muotoja, kuten kaareutuvia kattoja. Rakenne kuitenkin vaatii kantavaa tukirakennetta kuivumisen ajaksi, mutta pitää muotonsa kuivuttuaan. (Imhof & Gruber, 2017, s. 118–123)

Usein sieni-itiöistä halutaan päästä eroon rakennuksissa ja niiden kasvua yritetään ennaltaehkäistä. Lahottajasienelle otolliset kasvuolosuhteet ovat samankaltaiset kuin homelajeilla, joten homekasvun riski on myös suuri (Imhof & Gruber, 2017, s. 108). Materiaali, jolla on osterivinokkaan kyky luonnonmateriaalien sitomiseen, mutta ei sisällä allergeeneja, olisi bioarkkitehtuurissa toimiva ja turvallinen tuote kaikille. Lahottajasienien tapa kasvattaa massaa voisi kuitenkin toimia innoittajana uudella materiaalitekniikalla. Synteettinen biologian keinoin voitaisiin löytää keino lahottajasienien kasvutavan kopiaimiselle. Synteettinen lahottajasieni voisi olla ratkaisu rakennusmateriaalien turvalliseen kasvattamiseen. Sieniproteiineja tutkinut VTT:n bio- ja elintarvikeyksikön erikoistutkija Géza Szilvay kertoi haastattelussa, että ratkaisu homeiden ennaltaehkäisemiselle sienirihmastomateriaaleissa on usein materiaalin kuolettaminen, jolloin sienirihmasto lopettaa kasvunsa ja itiöiden riski katoaa.

Materiaalin kuivumisen suuri kokovaihtelu (Imhof & Gruber, 2017, s. 100) soveltuu vaikeasti rakentamisen konseptiin. Jos Sienestä rakennettaisiin tiiliskiviä, jotka kuivatetaan etukäteen, ennen rakentamista, ei kuivuminen haittaisi rakennusprosessia, mutta tällöin rakennuksen kasvattamisen periaate katoaa. Kysymys mihin teksti jätti vastaamatta on valmiin materiaalin kyky vastaanottaa kosteutta kuivumisen jälkeen. Tuleeko sieni imeä kaiken siihen osuvan kosteuden ja tällöin itämään uudelleen? Vaikka materiaali ei aiheuttaisi vaaraa allergisille ihmisille kuoletettuna, voisiko sieni uudelleen aktivoitua kosteudesta. Kun materiaali läpäisee terveellisuuden ja turvallisuuden kriteerit tai keksitään riskitön vaihtoehto, rakennuksen kasvattaminen voi olla mahdollista. Siihen asti valmistuksen päätteeksi kuoletetut sienirihmastomateriaalit soveltuvat hyvin sisätiloihin.

Ajankohtainen esimerkki sienirihmastorakenteiden hyödyntämisestä löytyy avaruustutkimuksesta. NASAn Ames-tutkimuskeskus tutkii Kalifornian Piilaaksossa uusia asumismuotoja avaruudessa matkustamisen ja vakituisen asumisen kannalta. Viimeisin konsepti on tutkinut sienirihmaston kasvatusta avaruusasumukseen. Tällöin materiaalia ei tarvitsisi kuljettaa valtavia määriä avaruuslentojen yhteydessä, vaan rakennusaine kasvaisi paikan päällä ja tuottaisi asumiselle välttämätöntä happea. Konseptit on ajateltu avaruuden karuihin oloihin, mutta konseptilla voi olla myös tulevaisuus maapallon rakennuskannassa. (Tavares, 2020)



NASA:n “Myco-architecture project” on kehittänyt sienirihmastorakenteen, joka perustuu kolmeen kerrokseen. Uloin kerros on jäätä, joka suojaa rakennusta säteilyltä. Jäästä sulava vesi ruokkii toisen kerroksen syanobakteereja. Syanobakteerit tuottavat jäätä sulaneesta vedestä ja sen läpi paistavan auringon va-

lon avulla ihmisille välttämätöntä happea ja sienirihmaston kasvuille tarpeellisia ravinteita. Sienirihmaston kasvu tuottaa hiilidioksidia, jota syanobakteeri tarvitsee yhteyttämiseen. Kun sienirihmastorakenne on saavuttanut halutun paksuuden, rakenne poltetaan lujaksi, jotta kasvu loppuu. (Tavares, 2020) Rakenne kuoletetaan kasvun päätteeksi. Kerrosten välillä on yksisuuntaiset venttiilit, jotta vesi pääsee syanobakteerikerrokseen ja syanobakteerit sienirihmastokerrokseen (Team Stanford-Brown-RISD).

NASAlle sienirihmastotiiliä tutkinut tiimi MYCO Stanford-Brown-RISD kehitti koodin, jolla sienirihmaston kasvua muotissa voidaan arvioida ajallisesti. Koodi on tarkoitettu apuvälineeksi rakentamista varten. Se kertoo valmistajalle muotin pinta-alan ja tilavuuden perusteella, kuinka monta päivää muotin täyttyminen kestää. Tutkimuksissa havaittiin, että sienirihmasto kasvaa ensin kerroksen muotin pohjalle ja vasta sen jälkeen aloittaa kolmiulotteisen kasvun. (Team Stanford-Brown-RISD) Laskentakaavan avulla rakennuttajat voivat arvioida urakan rakennusajan keston.

Kuva 15. Mogu akustiikkapaneelit ja -lattiat on tuotettu sienirihmastosta. Materiaalin tekstuuri on miellyttävä ja luonnostaan luonnonvalkoinen. Muotoa voidaan soveltaa vapaasti muotteilla, mutta myös tavallinen sileä pinta onnistuu. (Mogu)



Sienirihmastorakenteiset ja kasvatetut rakennukset kuulostavat konseptitasolla positiivisista tutkimustuloksista huolimatta kaukaiselta tulevaisuudelta. Täysin mikrobimateriaaleihin perustuvien rakennuksien rakentamiseen voi mennä vuosikymmeniä, mutta sienirihmastomateriaaleille löytyy jo nyt paljon sovelluksia. Yksi näistä sovelluksista on akustiikkapaneelit.

Mogu on innovatiivinen sienirihmastoa soveltava yhtiö. Heidän akustiikkalevytensä ja akustiset lattialaattansa tuotetaan monin tavoin samalla tekniikalla kuin Imhofin ja Gru-

berin teoksen sienirihmastotiilet. Sienirihmastoja ruokitaan muotissa maatalouden ja teollisuuden hukkatuotteella, jonka jälkeen materiaali kuivatetaan hitaasti ja tasaisesti, jotta kuivatus kuluttaisi vähemmän energiaa. Mogu käyttää täysin geenimuuntelemattomia ja allergeenittömiä sienilajeja tuotteidensa valmistukseen. Mogun akustiset lattialaatat saivat EU:n Horizon 2020 rahoitusta. (Mogu) Sienirihmastolle on luvassa monia käyttösovelluksia rakentamisessa.



Kuva 16. Nanoselluloosaa (UPM pulp)

1.2.4 Nanoselluloosa

Selluloosa on luonnossa yleisimmin esiintyvä polymeeri. Sitä saadaan muun muassa keittämällä puuainesta kemikaaleissa (Metsäyhdistys). Nanoselluloosamateriaalin määritelmän mukaan ainakin yksi dimensio on nanoluokkaa eli alle 100 nanometriä. (Kangas, 2014, s. 6) Paperin kysynnän laskun myötä kiinnostus nanoselluloosaa kohtaan on kasvanut. Teollinen mittakaava valmistukselle on myös tullut mahdolliseksi, kun tuotannon energiankulutusta on onnistuttu laskemaan. Nanoselluloosan teollisen tuotannon etuna on uusiutuva ja yleinen raaka-aine. (Kangas, 2014, s. 7)

Nanoselluloosan tärkeimpiä ominaisuuksia on lujuus. Lujuutta vertaillessa laskettiin selluloosananofibrillin akselin kimmokekertoimen arvoksi 65 gigapascalia (GPa). Alumiinin vastaava luku on 69 GPa ja teräksen 200 GPa. Jo hyvin alhainen nanosellukuitupitoisuus veteen sekoitettuna muodostaa sitkeän geelin, mikä johtuu fibrillien välisistä vuorovaikutusvoimista. Kuidut muodostavat kriittisen konsentraation ylittyessä kimmoisan verkoston ja tuloksena on kestävä rakenne. (Kangas, 2014, s. 25) Korkean vesipitoisuuden haittapuolena on kuitenkin se, että materiaalin kiinteäksi kappaleeksi muodostaminen vaatii tehokasta kuivattamista, missä kuluu paljon energiaa, kertoo Härkäsalmi haastattelussa.

Selluloosananomateriaalien valmistuksessa käytetään mekaanisia, kemiallisia ja entsymaattisia menetelmiä tai sitä voidaan tuottaa glukoosista bakteerien avulla. Raaka-aineena voidaan käyttää puuta, kasveja, eläimiä tai jätevirtoja. (Kangas, 2014, s. 8) Mekaanisia valmistustapoja ovat mm. jauhaminen ja homogenointi mikrofluidisaattorin avulla (Kangas, 2014, s. 17). Mekaaniset valmistustavat kuluttavat paljon energiaa, joten energian säästämiseksi valmistusta voidaan tehostaa kemiallisilla tai entsymaattisilla esikäsitteilyillä (Kangas, 2014, s. 19). Bakteriselluloosaa syntyy, kun glukoosista muodostuu selluloosaa polymerisaation kautta. (Kangas, 2014, s. 13)

DWoC eli Design Driven Value Chains in the World of Cellulose oli viisivuotinen Tekesin, rahoittama tutkimushanke, johon osallistuivat, VTT, Aalto-yliopisto, Vaasan yliopisto ja Tampereen teknillinen yliopisto. Tutkimustiimi koostui eri tieteenalojen ammattilaisista muotoilun, tekniikan ja luonnontieteiden alalta. Tutkimuksen yhteinen tavoite oli lisätä selluloosan käyttöä erityisesti korkean lisäarvon tuotteissa ja rakentaa monialaista yhteistyöverkostoa biomateriaalien ympärille, kertoo Tiina Härkäsalmi, tutkimushankkeen muotoilututkija. Hanke toteutettiin 1.4.2013–31.3.2018. Pitkälle jalostetut selluloosatuotteet toisivat uusia metsätalouden sovellusmuotoja. Tutkittavia käyttötarkoituksia oli muun muassa selluloosan käyttö arkkitehtuurissa, rakentamisessa, sisustuksessa, tekstiiliteollisuudessa ja terveystuotteissa. DWoC-hankkeessa yhdistyivät Suomen kaksi markkinamyöntivalttia: metsätalous ja design. (Cellulose From Finland)

Vuonna 2014 julkaistussa selluloosananomateriaalien oppaassa (Kangas, 2014) materiaalin sovellusmahdollisuuksiksi listattiin pakkausmateriaalit ja suojakalvot, polymeerikomposiitit, langat, nesteiden koostumuksen apuaineet, elektroniikkatuotesovellukset, kuten näytöt, sekä lääketieteelliset sovellukset, kuten ruston ja kantasolujen kasvatustalustana. (Kangas, 2014, s. 28–40). DWoC-tutkimushankkeessa kehiteltiin uusia käyttötarkoituksia, joissa nanoselluloosan ominaisuuksia hyödynnettiin myös suuremman mittakaavan tuotteissa, kuten pyöränrungoissa, kankaissa ja vaahtomateriaaleissa. (Cellulose From Finland) Keskustelimme muotoilututkijan, Tiina Härkäsalmen, kanssa nanoselluloosan mahdollisista käyttötarkoituksista haastattelussa. Luvussa 2.4.2 on lisätietoa haastattelussa selvinneistä nanoselluloosan ominaisuuksista ja kokeellisella materiaalilla tapahtuvasta muotoilutyöstä.

Kuva 17. Kim Antin ja Tuomas Pärnäsén suunnittelemassa polkupyöräprototyypissä käytettiin Tiina Härkäsalmen nanoselluloosaputkirakennetta. (Eeva Suorlahti)





1.3 BIOTULOSTAMINEN

Kuva 18. Mediated Matter -tutkimustiimin käyttämä vesipohjainen biokomposiittitulostin. Robotti kykenee tulostamaan monimutkaisiakin rakenteita. (The Mediated Matter Group)

3D-tulostustamien on materiaalia lisäävä valmistamismuoto, missä tietokonemallinnettu objekti pursotetaan laitteella materiaalikerros kerrallaan. Metodi on joustava, koska digitaalisen mallin saa lähetettyä minne tahansa maailmassa verkon välityksellä ja kyseisen tuotteen voi tulostaa paikallisesti tulostuslaitteistolla tarvittaessa. 3D-tulostuksella on mahdollisuus muuttaa tavaran valmistus- ja kuljetusketjuja tulevaisuudessa. (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy) 3D-tulostaminen myös vähentää komponenttien määrän tarvetta ja näin vähentää valmistuskustannuksia ja kokoamisaikaa.

3D-tulostamisessa voidaan hyödyntää biologian lähestymistapaa monella eri tavalla. Helpoiten adaptoitava biotulostamisen muoto on biokomposiittimateriaalin käyttö, mikä sopii tavalliseenkin 3D-tulostimeen, mutta pursotusmateriaali on peräisin eloperäisistä aineista (Törmänen, 2018). Sen lisäksi on olemassa biotulostimia, jotka voivat tulostaa elävistä soluista ja tukiaineista muodostuvaa biomustetta, joka asettuessaan kasvaa eläväksi kudokseksi (Östman, 2019). Kolmas ja kaikista kokeellisin tapa on tehdä itse tulostimesta organismin omaisesti toimiva kiertokulkua hyödyntävä kone (Imhof & Gruber, 2016, s. 126). Kaikissa näissä tulostamisen metodeissa on biologia inspiraation lähteenä. Biotulostaminen on valmistusmuoto, jota synteettisen biologian materiaaleja käyttävä bioarkkitehtuuri ja biomimiikan tieteenala voivat hyödyntää. Tulostaminen on rakentamisessa vasta alkutekijöissään, mutta sen käytön yleistyminen voi olla vain ajan kysymys.

1.3.1 Biokomposiitit 3D-tulostuksessa

3D-tulostuksessa voidaan käyttää fossiiliperäisille muoveille korvaajiksi kehitettyjä biokomposiittimateriaaleja tai biomuoveja. Komposiiteissa yhdistetään kahta tai useampaa materiaalia. Biokomposiiteissa vähintään yksi aine on biopohjainen (Mikkonen, 2017). Esimerkiksi UPM:n biokomposiittimateriaali on eloperäisistä biopolymeereistä ja sellukuiduista valmistettua yhdistelmää, joka tulostamisen jälkeen kovettuessaan muuttuu puun tavalla työstettäväksi tasaiseksi massaksi (Törmänen, 2018). Muovien ja luonnonkuitujen yhdistäminen on jo askel oikeaan suuntaan, mutta kun muovin valmistuksessa käytetyt fossiiliset polttoaineet onnistutaan korvaamaan täysin biopolttoaineilla, muovin valmistus voisi olla täysin eloperäistä. Kun muovin ominaisuuksiin vielä lisätään biohajoavuus, maapallon muovituotannon ruokkimat ongelmat pysähtyisivät. Kun muovi säästää edellä mainitun pisteen, sen sovellukset rakentamisessa laskevat rakentamisen hiilijalanjälkeä.

UPM eritteli lehdistötiedotteessaan (2019) 3D-tulostettavalle biokomposiittimateriaalilleen pääkäyttötarkoituksiksi huonekalusuunnittelun, muotinvalmistuksen ja veneteollisuuden, mutta mainitsivat, että suuren mittakaavan 3D-tulostus kehittyy nopeasti. Suuren mittakaavan tulosteet mahdollistaa materiaalin alhainen kutistumisprosentti kuivumisen yhteydessä sekä valmiin tuotteen helppo jatkotyöstö: hiominen ja maalaus. Ylijäämätuote voidaan kierrättää suoraan seuraavan tuotteen valmistuksen murskeena. (UPM, 2019) Haastattellessani UPM:n biokomposiittien sovelluspäällikköä Eve Saarikoskea, hän tarkensi, että seoksesta 25 % voi olla uudelleen käytettyä mursketta. Tulostamisen hyvä puoli on myös se, että materiaalia ei mene ollenkaan hukkaan työstämisen hukkapaloina, jos tietokonemalli on tehty huolellisesti, eikä virheitä tehdä. Virheiden teon mahdollisuus kuitenkin helpottaa tuotteen soveltamista käytännössä, koska suunnittelu-työ on ihmisten tekemää työtä, mikä vaatii virheiden teon sallimista.

Biokomposiitin mahdolliset käyttötarkoitukset rakennusalaalla voisivat soveltua niin muovia hyödyntäneissä sovelluksissa, kuten puutakin korvaamaan tilanteissa, joissa kohde vaatii puun ominaisuuksia, mutta puu ei taivu vaadittuun muodonantoon. Biokomposiittia voidaan tulostaa niin pienillä kuin suurillakin suuttimilla, mikä mahdollistaa sekä tarkat yksityiskohdat että vakaan ja suuren mittakaavan valmistuksen (UPM, 2019). Silti yritys antaa esimerkkeinä soveltamiseen vain vene- ja huonekaluteollisuuden mittakaavan tuotteita. Nykyään markkinoilla on jo komposiittilaudoitusta terassimateriaaliksi, mutta voitaisiinko biokomposiitteja hyödyntää arkkitehtuurissa kokonaisvaltaisemmin. Haastat-

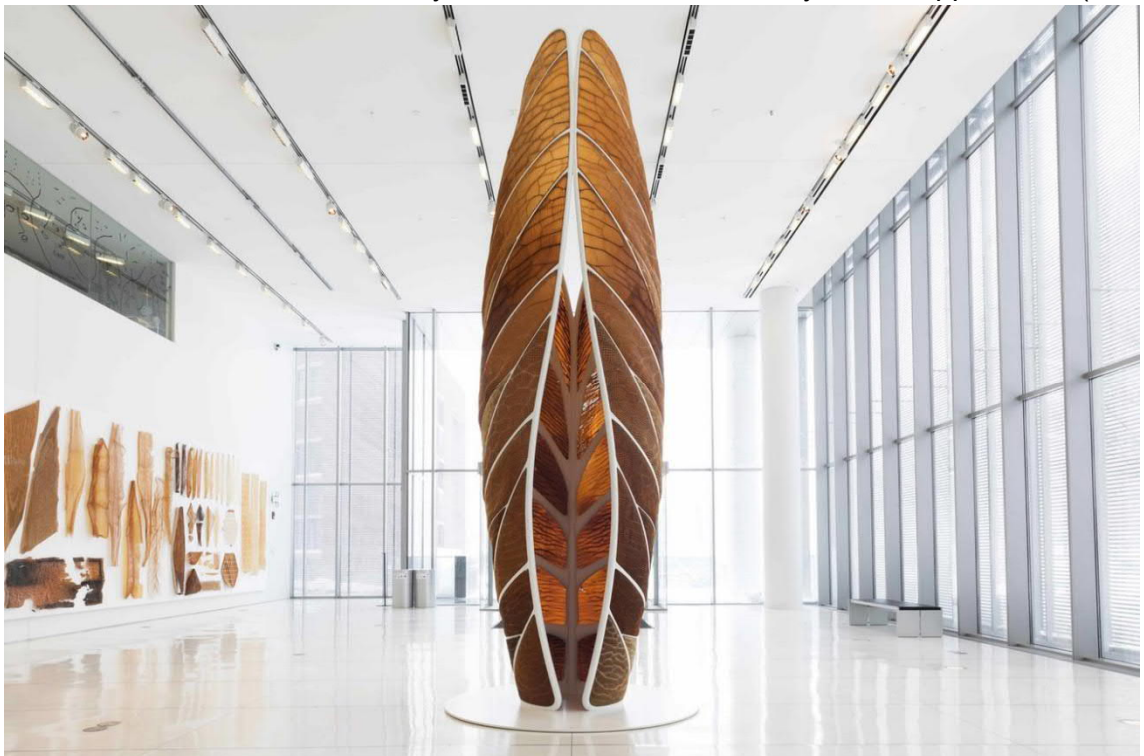
telin UPM:n biokomposiittien sovelluspäällikköä, Eve Saarikoskea, biokomposiittien kaupallisesta käytöstä ja käyttötarkoitusten kehityksestä yritysmaailmassa. Keskustelun tiivistelmä löytyy luvusta 2.4.3.

Esimerkkinä rakennusalan kokeilusta biokomposiittien käytön kanssa on Aguahoja: 3D-tulostettu vesipohjaisia biokomposiitteja tutkiva paviljonkirakenne. Kyseessä on arkkitehti Neri Oxmanin, MIT-yliopiston tutkijaprofessorin, vetämän Mediated Matter –tutkimustiimin tutkimuskohde. Projektissa käytetty biokomposiitti muodostuu selluloosasta, kitosaanista, pektiinistä ja kalsiumkarbonaatista. (The Mediated Matter Group)

Kitosaani on äyriäisten kuorista saatavasta kitiinistä johdettua biopolymeeriä (Heikkilä, 2003). Pekiinit ovat ruokatuotannossa käytettyjä emulgointiaineita (E440), joita uutetaan muun muassa sitrushedelmien kuorista ja omenoista (Ruokavirasto). Selluloosaa saadaan puuteollisuuden ylijäämästä, kitosaania ja pektiiniä ruokateollisuuden hukkatuotteista ja kalsiumkarbonaattia esiintyy luonnossa kaikkialla (IMA Europe). Aguahojan materiaalit ovat siis saavutettavia kaikkialla ja niiden valmistus hyödyntää aineita, jotka muutoin päätyisivät jätteeksi.

Edellä mainittuja valmistusaineita käyttämällä voidaan saada laaja skaala ominaisuuksiltaan vaihtelevia materiaaleja. Materiaalin kestävyyttä, veteen liukenemista, kantavuutta, läpinäkyvyyttä ja joustavuutta voidaan muuttaa kontrolloimalla käytettyjen aineiden välisiä suhteita valmistuksen aikana. Materiaalien ristikkomainen rakenne vaihtelee sille tarkoitetun ominaisuuden myötä, kuten luonnossa esiintymissä kappaleissa. (The

Kuva 19. Aguahoja paviljonki on 5 m korkea, biokomposiitista yhtenä kappaleena tulostettu rakennelma, jonka materiaali muuttaa saumattomasti kantavuutta, läpinäkyvyyttä ja joustavuutta. (The Mediated Matter group)



Mediated Matter Group) Tulevaisuuden rakennukset voisivat 3D-tulostuksen avulla luopua rakennusosista ja elementeistä. Rakenteille vaadittavat ominaisuudet voitaisiin ohjelmoida tietokoneelle ja tulostin toteuttaisi rakennelman saumattomasti.

Biotulostamisen valmistusmuoto voisi muuttaa rakennustyömaiden elämän pysyvästi. Rakennustyömaiden vuosia kestävä äänisaaste ja liikenteen sekoittaminen kestäisivät murto-osan nykyisestä. Kulttuuriperintökohteen rakentaminen voisi olla yhtä nopeaa kuin pakettitalon pystyttäminen, mutta yksityiskohtien tarkkuus olisi juuri niin viimeisteltyä, kuin suunnittelija haluaa. Valmiin kohteen laatu ei riippuisi rakentajan huolellisuudesta ja työkokemuksesta tai työmaalla tehdyistä viime hetken päätöksistä, vaan suunnittelijasta. Rakennusalan koneellistuminen veisi paljon työpaikkoja rakennustyömailta, mutta loisi myös uusia ammatteja asiantuntijatehtäviin, laitteiden valvontaan ja huoltoon sekä valmistukseen.

1.3.2 Kantasolutulostus

Kantasolututkimus ja 3D-tulostus on avannut uusia mahdollisuuksia biosynteettisten siirteiden kehittämiselle, mikä voisi joskus korvata mekaaniset siirteet ja vainajien luovutuksista riippuvaiset elinsiirrot. Ihmisen omien kantasolujen hyödyntäminen olisivat vallankumouksellinen edistysaskel elinsiirrealalla. Siirteiden hylkiminen on ajankohtainen komplikaatoriski, jonka katoaisi kantasolutulosteiden myötä. (Sirén, 2020) Kantasolutulostamisesta voisi olla hyötyä myös rakentamisessa.

Tampereen yliopiston tutkimusryhmä kehittää biotulostuksen tieteenalaa yhdessä monialaisen tiimin kanssa. Mukana on biologeja, insinöörejä ja lääkäreitä, joiden yhteisenä tavoitteena on kehittää biomassasta ihmiselle käyttökelpoisia elimiä ja kudoksia. Tähän asti onnistuneita tulostuskohteita ovat muun muassa silmän sarveiskalvo ja luun rusto. Biotulostuksen materiaalina käytetään tutkijatohtori Anni Mörön mukaan ”biomustetta”, joka koostuu elävistä soluista ja kasvutekijöistä. Materiaalin pursottamisen jälkeen haluttuun muotoon materiaalin annetaan asettua ja solujen kasvaa kudokseksi. Tulostetun kappaleen tulee olla elävä organismi toimiakseen, joten pelkkä materiaalin pursotus ei riitä. (Östman, 2019)

Biomuste ja biotulostaminen voisi mahdollistaa adaptoituvien rakenteiden tulostamisen. Kasvikunnasta tai mikrobeista erotettaisiin kantasoluja, jotka toimisivat biomusteen tavoin tulostusmateriaalina. Kantasolut voisivat olla geneettisesti muunneltuja tai luontoperäisiä. Tietokoneella mallinnetut ja tulostimella pursotetut massat muodostaisivat solukkoja, jotka jatkaisivat omatoimisesti vahvistumista ja kasvamista. Jos tulostuksessa

käytettäisiin mikrobeja, ne voisivat tuottaa haluttua biomassaa tulostettuun muotoon. Materiaalin ominaisuudet määräytyisivät kantasoluja luovuttaneen kasvin tai eliön ominaisuuksien mukaan. Tietokonemallilla määrätty materiaalin pursotus voisi toimia alustavana raamina biomassalle, joka kasvaisi omatoimisesti lopulliseen muotoonsa tai määrittäisi tarkasti sen kasvun rajat. Voitaisiin kehittää myös materiaaleja, jotka kasvien tavoin jatkavat kasvuaan. Neri Oxmanin tiimin kaltaiset tietokoneavusteisen suunnittelun kehittelijät tulostavat jo nyt biokomposiitteja luonnollista kasvua jäljitteleviä tietokoneohjelmia apuna käyttäen (Oxman, et al., 2016, s. 80). Algoritmien avulla osataan arvioida mihin muotoon materiaali päättyy, kun se on saavuttanut lopullisen muotonsa.

Yle Uutisten otsikko: “3D-tulostimella ei vielä tehdä ihmeitä lääketieteessä – ihmiselinten printtaaminen “varaosiksi” on toistaiseksi mahdotonta” (Vatanen, 2017) sai jatkoa otsikolla: “3D-biotulostimella valmistetaan jo sarveiskalvoa, ja kohta myös ihoa ja ihmisen varaosia” (Östman, 2019). Ensimmäinen onnistunut sarveiskalvon tulostus maailmassa tapahtui Tampereella jo huhtikuussa 2018 (Östman, 2019), vain puolitoista vuotta 2016 vuoden Slush-tapahtuman jälkeen, josta uutisoinnit biotulostimista päättyivät massamediaan vuonna 2017. Kun kehitys sanoista teoiksi on näin nopeaa lääketieteessä, millä aikataululla voisimme odottaa muutoksia rakennusmateriaalien tulostamisessa.

1.3.3 Aineenvaihdunnallinen tulostin

3D-tulostamisessa käytetty laite vaatii ulkoisen energian lähteen. Jotta laite onnistuisi tuottamaan oman energiansa toimintansa ylläpitämiseksi, tarvitsee laite oman aineenvaihdunnan. Aineenvaihdunta on elävän organismin toiminnan edellytys, jotta energia ja materia pääsevät osaksi elämän kiertokulkua. (Imhof & Gruber, 2017, s. 126)

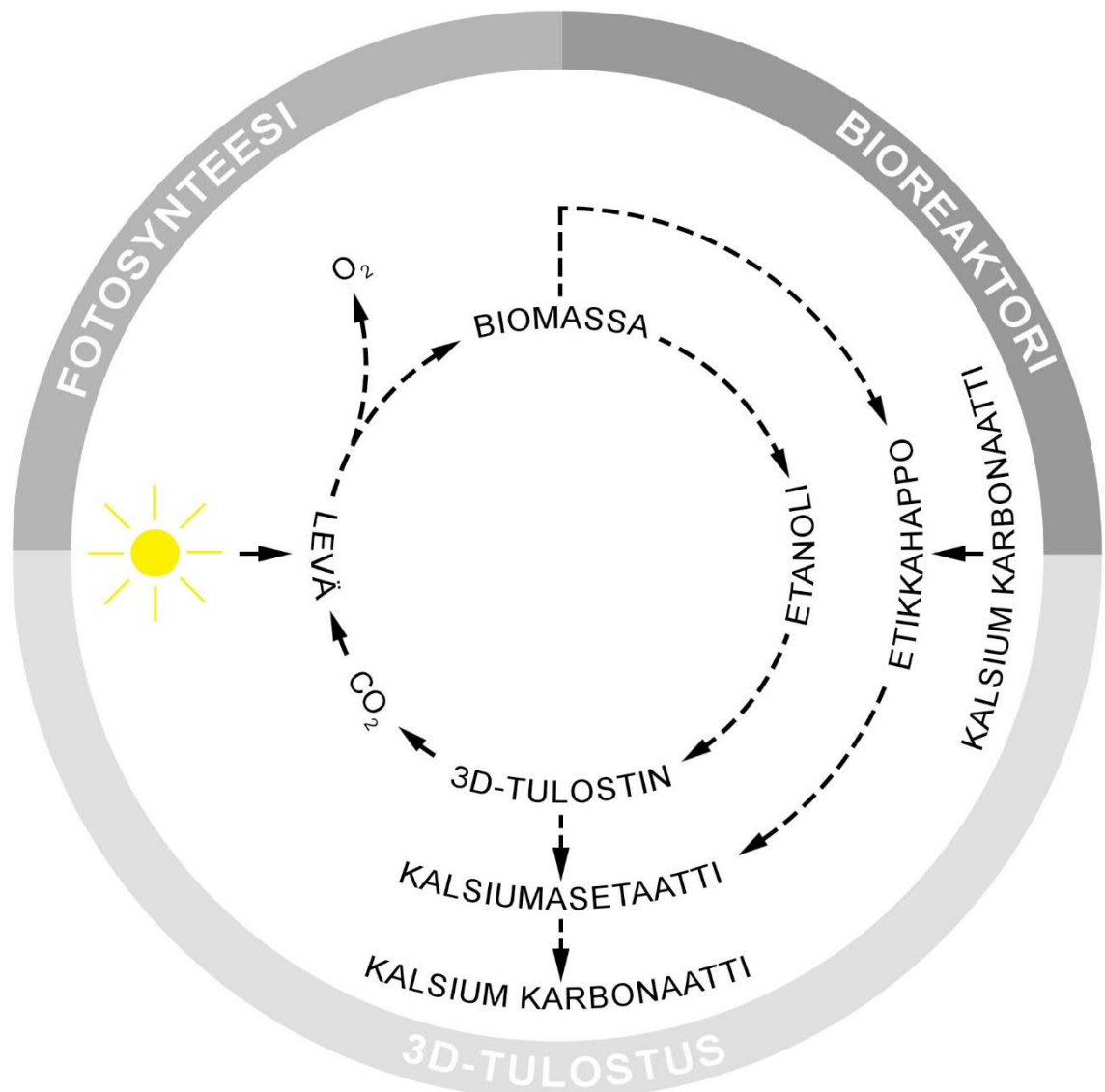
Aineenvaihdunnallinen 3D-tulostin on hiilivapaan materiaalia lisäävän valmistuksen konsepti. 3D-tulostuksen sivutuotteena muodostuva hiilidioksidi on ravintoa levälle, joka aurionvalon voimalla tuottaa biomassaa ja happea fotosynteesin tuloksena. Bioreaktori muuttaa levän tuottaman biomassan biologisten reaktioiden kautta tulostimelle välttämättömäksi etanoliksi ja tulostusmateriaalin ainesosana käytettäväksi etikkahapoksi. Etikkahappo muuttaa kalsiumkarbonaatista nestemäistä, jotta sitä voidaan tulostaa. Kalsiumkarbonaatin ja etikan yhdistelmä on kalsiumasetaatti, jota käytetään tulostimen musteena. (Imhof & Gruber, 2017, s. 126–128)

Kalsiumasetaatti on tulostimelle sopiva tulostusmateriaali, koska se on sitkeä neste, joka kuivuu kiinteäksi kalsiumkarbonaatiksi tarpeeksi nopeasti, jotta tulostimen kerrokset pys-

tyvät rakentumaan edellisen kerroksen päälle. Kalsiumasettaatti muuttuu tulostusprosessissa kalsiumkarbonaatiksi, joka sitoo hiilidioksidia kovettumisprosessissa. (Imhof & Gruber, 2017, s. 129–130) Kalsiumkarbonaatti on tullut ilmi useammassa lähteessä kanto-kykyisenä ja kestäväenä materiaalina, jonka ominaisuudet olisivat sovellettavissa rakennusteollisuuden tarpeisiin (esim. Heveran, et al, 2020).

Aineenvaihdunnallisen tulostuksen konsepti on luonnossa tapahtuvan ravinteiden kiertokulun inspiroima konsepti, jonka kaikki palaset tarvitsevat toisiaan toimiakseen. Ravinteet kiertävät ja prosessi tuottaa tulostemateriaalia suljetun kehän mukaisesti. Ongelmia, jotka aineenvaihdunnallisen tulostamisen tulisi kuitenkin ratkaista on tulostusmateriaalin yksipuolisuus. Kalsiumkarbonaatti on monipuolinen ja kestävä materiaali kuten opimme biobetonin kappaleesta, mutta jotta konseptin energiahyödyt saataisiin laajasti käyttöön, tulee tulostamisen olla mahdollista kaikilla tulostusmateriaaleilla.

Kuva 20. Konseptikaavio aineenvaihdunnallisen tulostimen toiminnan kiertokulusta. (yksinkertaistus kirjan kaaviosta, Imhof & Gruber, 2017, s. 127)





Kuva 21. 3D-tulostettu vaatekappaleen käytävissä asuu mikrobikasvustoja, jotka voisivat tuottaa kantalalleen hyödykkeitä. Vaatekappaleen valmistukseen vaadittiin tietokonemallintamisen kehitystä. (Yoram Reshef)

1.3.4 Tulostettu elinympäristö

Neri Oxman on MIT-yliopiston professori, jonka tutkimustiimi tutkii tietokoneavusteisesti suunniteltujen materiaalien mahdollisuuksia arkkitehtuurissa, sekä yhteiskunnassa. Hänen väitöskirjansa ”Material-based Design Computation” (2010) tutkii materiaalilähtöistä ja tietokoneilla ohjattua suunnittelua. Neri Oxman kritisoi historian varrella lujittunutta käsitystä materiaalien roolista muodon käskyläisenä sen alkuunpanijan sijaan (Oxman, 2010, s. 27). Materiaalien ehdoilla suunnittelemisella voisi olla suuri vaikutus ilmastonmuutosta vastaan käytävässä taistelussa (Oxman, 2010, s. 73). Neri Oxman mainitsee myös biomimikian suuntauksen suunnittelun, jonka muodonanto jäljittelee luonnossa esiintyviä rakenteita ja prosesseja sekä tukeutuu materiaalin ominaisuuksiin suunniteltaessa (Oxman, 2010, s. 45).

Oxmanin ja hänen tutkimustiiminsä, The Mediated Matter Group, keskittyy luonnosta inspiroituvaan suunnitteluun. Tutkimukset käsittelevät tieteenaloja tietomallintamisesta, digitaaliseen tuotevalmistukseen, materiaalitieteeseen ja synteettiseen biologiaan asti. Tavoitteena on parantaa biosynteettisten materiaalien ja rakenteiden käytettävyyttä kehittämällä tietomallinnuksen periaatteita ja biotulostamisen mahdollisuuksia. (The Mediated Matter Group) Ryhmä havainnollistaa tutkimustensa löydöksiä prototyypisuunnitelmilla, kuten design-kalusteilla ja paviljongeilla. Tässä luvussa esitellään mikro-organismeja asuttava vaatekappale, jonka nestekanavissa tapahtuu fotosynteesiä. Heidän tutkimuksensa tuloksena on tietokoneavusteisen suunnittelun ympäristö kolmiulotteisesti tulostettavalle tuotteelle, jonka monimuotoisuus ja kanavien hienot rakenteet olisivat muutoin

vaikeasti mallinnettavissa ja toteutettavissa (Oxman et al., 2016, s. 79). Haasteena on suunnitella materiaalijärjestelmä, joka kontrolloi itsenäisesti muotoutuvaa mikrobikasvua. Työssä yhteensovitetään primitiivinen elämänmuoto ja suunniteltu elinympäristö. (Oxman et al., 2016, s. 79)

Vaateen nestekanavien tehtävänä on asuttaa symbioosissa eläviä mikro-organismeja. Omavarainen laji, esimerkiksi levälajike, tuottaa happea fotosynteesin avulla, jota toisen varainen kanavia asuttava bakteerikanta käyttää. Bakteerikannan elämän sivutuotteena muodostuva hiilidioksidi kiertää takaisin levän käyttöön fotosynteesissä. Vaatekappaleella on siis omavarainen ja ympäristöstä riippumaton aineenvaihdunta. (Oxman et al., 2016, s. 79)

Kuva 22. Mushtari: tulostettu vaatekappale, joka asuttaa mikro-organismeja. (Yoram Reshef)



Vaatekappaleen tehtävä olisi tuottaa kantajalleen toivottua hyödykettä (Oxman et al., 2016, s. 79). Kanaviin asuttavien eliöiden lajien valinnasta riippuu, mitä jälkiuutotteita vaatteessa syntyisi. Levän kanssa paritettuna muun muassa ihmisen ruuansulatuksestaakin löydettävä *Escherichia coli* –bakteeri voisi tuottaa biopolttoainetta, kun taas maaperän bakteeri *Bacillus subtilis* voisi tuottaa entsyymejä tai lääkkeitä omistajalleen (Oxman, et al., 2016, s. 87). Tulevaisuuden tutkimuk-

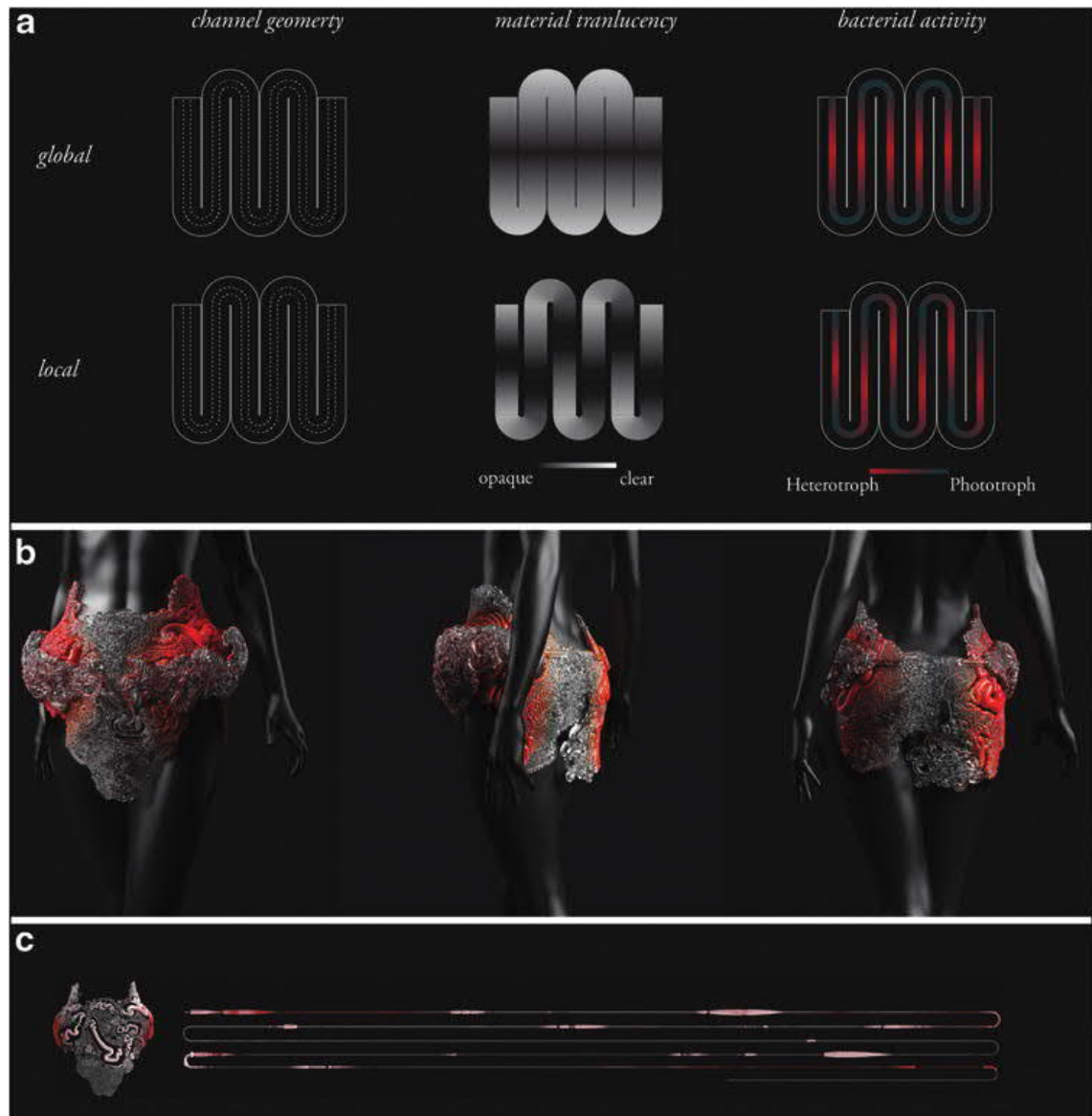
sen tavoitteena olisi saavuttaa ihon kaltaisesti toimiva materiaali, joka pystyisi suodattamaan mikro-organismin elämän jälkiuutotteena muodostuvat tuotteet, esim. sokerin, lääkeaineen tai biopolttoaineen. Tällöin myös vaatetta yllään pitävä hyötyisi tuotteen aineenvaihdunnasta. Kun tulostimien tarkkuus kehittyy niin pitkälle, että ihohuokosten jäljittely onnistuu, voi materiaalin läpäiseminen olla mahdollista. (Oxman et al., 2016, s. 89) Jos samanlaista symbioosieliöiden asuttamista alettaisiin soveltamaan rakennusten seinissä, voitaisiin sivutuotteeksi määritellä rakennuksen käytön kannalta hyödyllisin bakteerikanta. Esimerkiksi apteekeissa ja sairaaloissa työskentelisivät *Bacillus subtilis* -bakteerit lääketehtaina ja kaupallisten rakennusten parkkihalleissa biopolttoainetta olisi tarjolla suoraan seinärakenteesta.

Tulostuksessa tavoitteena oli tuottaa yksikanavainen rakennelma, joka sisältää useampaa materiaalia ja materiaaliominaisuutta. Jotta lopputulos saataisiin pysymään onttona,

tulostuksessa käytettiin geelinomaista nestemäistä tukimateriaalia. Tukimateriaali piti kanavat auki sillä aikaa, kun tulostin pursotti rakennemateriaalia. (Oxman, et al., 2016, s. 85) Saman kaltaisella tekniikalla, joko nestemäisellä tai liukenevalla tukimateriaalilla, voitaisiin rakennusta tulostettaessa täyttää vesi ja ilmastointikanavat sekä muut tarpeelliset reititykset. Tämä varmistaisi sen, että tulostusprosessissa tulostusmateriaalin ollessa vielä märkää ja painovoimalle altista, kanavat eivät tukkiutuisi.

Kohteen tuottamista varten täytyi luoda tietokonemalli, joka jäljittelee luontaista kasvua kontrolloidusti. Mallinnuksessa käytettiin laskennallista algoritmia, joka ennakoiki biologisten materiaalien kasvua. (Oxman et al., 2016, s. 80). Kasvun kontrolloinnin lisäksi nestekanavien ominaisuuksien määrittely vaati useampia käskyjä. Fotosynteesin saavuttamiseksi osan kanavista täytyy läpäistä valoa. Toiminnallisen tietokonemallinnuksen avulla läpikuultavuuden ominaisuutta pystyttiin vaihtelevaan korkealla resoluutiolla ja

Kuva 23. Läpinäkyvämättömät osiot vaatteen lisäävät bakteerien aktiivisuutta ja läpinäkyvät osat yhteyttävien eliöiden aktiivisuutta. Tietokone-mallinnuksessa tutkittiin globaalin ja paikallisten parametrien vaikutusta vaateen aktiivisuuteen. Valmiissa vaatteessa materiaaliominaisuudet saavutettiin tarkan tietokone-mallin ja monimateriaalisen tulostimen ansiosta. (Mediated Matter Group)



saavutettiin materiaali, jossa läpikuultavuus vaihtelee kiinteän materiaalin kanssa sula-vasti. (Oxman, et al., 2016, s. 82–83) Käytetyssä tulostimessa voidaan useampaa materiaalia samanaikaisesti tulostamalla muodostaa uusia hybridimateriaaleja. Materiaalit limittyvät toisiinsa niin suudella resoluutiolla, että niiden ominaisuudet yhdistyvät uudeksi materiaaliksi. Toiminnallisella mallinnuksella kontrolloidaan materiaalien limittymistä, jolloin saadaan aikaiseksi saumattomasti muuntuva läpinäkyvän ja läpinäkymättömän materiaalin gradientti. (Oxman, et al., 2016, s. 84)

Tulevaisuudessa suoraan tietomallista tulostetut rakennukset voisivat olla mahdollisia, kunhan opittaisiin vaihtelemaan materiaaleja läpinäkyvästä umpinaiseksi ja lämpöeristävästä vedeneristäväksi saumattomasti. Neri Oxmanin tutkimuksessa mikro-organismeja asuttavasta vaatekappaleesta käytettiin 3D-tulostinta, joka pystyi tulostamaan useaa materiaalia samanaikaisesti tai saumattomasti vaihdellen (Oxman, et al., 2016, s. 82–83). Materiaalien limitystä hyödynnettiin läpinäkyvyyttä muutettaessa, mutta samaa tekniikkaa voitaisiin soveltaa esimerkiksi metalliosien tulostuksessa rakennusosille, jotka vaativat vedeneristystä, kuten katto- ja ikkunapellit. Ero tulostetun rakennuksen ja perinteisen rakennuksen välillä olisi se, että materiaalien ei tarvitsisi olla erillisiä osasia, jotka kiinnittyvät toisiinsa ruuveilla ja muttereilla, vaan materiaalien saumakohdat voitaisiin parhaimmillaan häivyttää kokonaan näkyvistä, jolloin huomio kiinnittyy muotoon, eikä liikaa kerääviin elementtisaumoihin. Materiaalien limittyminen pursotusvaiheessa toimisi samaan aikaan kiinnitysmekanismina ja arkkitehtonisena tehokeinona.

2. BIOMATERIAALIEN ISTUTTAMINEN

Uuden tiedon levittämisen lisäksi otin tavoitteekseni tuoda oman lisäyksen aiheeseen biomateriaalien tulevaisuuden mahdollistamiseksi rakennuskannassa. Tutkimuksen alkuperäisenä tavoitteena oli selvittää millaisilla asenteilla rakennuskulttuuri ottaisi vastaan biologian rakentamissuuntauksen ja kuinka sen istuttaminen rakennuskantaan voisi käytännössä onnistua. Tutkimusprosessin edetessä tavoitteekseni muodostui kuitenkin ennen kaikkea kartoittaa biomateriaalien matkaa laboratoriosta rakennuskantaan. Valitsin tutkimustavakseni teemahaastattelun. Haastateltaviksi halusin mahdollisimman laajasti eri alojen asiantuntijoita, koska kuten rakennushankekin, biomateriaalien käyttöönotto vaatii suuren määrän monialaosaamista. Seuraavissa luvuissa käsittelen tutkimusprosessia tutkimusmenetelmän, tutkimusaiheen rajaamisen ja haastateltavien valitsemisen näkökulmista. Haastattelujen tulokset ja päätelmät löytyvät luvusta 2.4.

2.1 Tutkimusmenetelmät

Ensimmäinen ideani tutkimusmenetelmäksi oli tehdä kvantitatiivinen kyselytutkimus, jota olisin levittänyt mahdollisimman laajasti rakennusliikkeisiin ja arkkitehtitoimistoihin sekä yliopistolla rakennetun ympäristön tiedekunnan sisällä. Diplomityöprosessin edetessä kuitenkin huomasin, että aiheeni biologian soveltamisesta arkkitehtuurissa on kovin vieras ja monelle jopa kummallinen. Kysymykset, joihin jokaisella olisi jotakin sanottavaa, muodostuisivat ympäripyöreiksi ja yleismaailmallisiksi, mikä ei tukisi aiheen kehitystä. Kyselytutkimuksen laaja levittäminen olisi toisaalta toiminut samalla eräänlaisena uutislehtisenä, mikä toisi aiheen rakennusalan tietoon. Itse tutkimuksen laatu kuitenkin olisi kärsinyt pintapuolisista vastauksista.

Aiheen tuntemattomuus ja kehitysaste aiheutti sen, että tarkasti kiteytettyjen kysymysten muodostaminen oli vaikeaa. Tämän takia arvioin, että teemojen käsittely tuottaisi hedelmällisempiä tuloksia, kuin kyselytutkimuksen kyllä/ei –vastaukset. Teemahaastattelussa käsitellään vapaan keskustelun kautta aihetta koskevia teemoja ja sitä kautta saadaan analysoitavia tuloksia (Valli & Aaltola, 2015, s. 27, teos 1). Teemahaastattelun monipuoliset näkökulmat eri alojen asiantuntijoilta antavat enemmän uutta materiaalia tutkimukselle uudesta ja kokeellisesta aiheesta. Sen sijaan kyselytutkimukset testaavat jo olemassa olevia teorioita tai ilmiöitä (Valli & Aaltola, 2015, s. 78, teos 2). Valitsin tutkimusmenetelmäksi teemahaastattelun.

2.2 Tutkimusaiheen rajaaminen

Laadulliselle tutkimukselle ominaisesti tutkimusongelmaa oli tutkimusta aloitettaessa vaikeaa määritellä. (Valli & Aaltola, 2015, s. 75, teos 2) Päätin luottaa siihen, että tutkimustyön aikana tapahtuvat päätökset ja ongelmanratkaisut johtavat jäsennehtävään tutkimusongelmaan. Tärkeintä alkuvaiheessa on valita harkitusti tutkimusta suuntaavat johtajatukset ja työhypoteesit, joiden varaan tutkimusratkaisut tehdään (Valli & Aaltola, 2015, s. 75, teos 2). Ensimmäiset johtajatukset haastatteluille olivat tiedonkeruu asiantuntijoilta ja monialaisten näkökulmien kartoittaminen biomateriaaleita kohtaan. Vallin ja Aaltolan oppikirjaan tukeutuen tiesin, että tutkimuksen asettelua voidaan tutkimuksen edetessäkin muuttaa ja tarkentaa uusien mielenkiinnonkohteiden ilmaantuessa. (Valli & Aaltola, 2015, s. 77, teos 2) Etenkin, jos tutkimuksen rajaus kiteytyy selkeämmäksi muutoksien avulla, kuten tutkimustyönikin kohdalla kävi.

Laadullisessa tutkimuksessa on kyse ”vähitellen tapahtuvasta tutkittavan ilmiön käsitteellistämisestä, ei niinkään etukäteen hahmotetun teorian testauksesta.” (Valli & Aaltola, 2015, s. 78, teos 2) Tähän periaatteeseen nojasin omassa tutkimuksessanikin. En tiennyt etukäteen, mitä tutkimukseni tuloksena saisin selville, eikä minulla ollut tarkkaan määriteltä ongelmää, joka vaati vastausta, mutta halusin saada eri asiantuntijoiden äänen kuuluviin, jotta tuloksena olisi eheämpi kokonaisuus. Tutkimusaiheen rajaamisen päätehtäväksi tulikin tutkimuksen eri näkökulmien hahmottaminen ja sitä kautta haastateltavien valitseminen. Näkökulmiksi valikoitui: luonnontieteiden- ja tekniikanalan näkökulma, rakennusalan näkökulma ja hallinnollinen näkökulma. Luvussa 2.3 kerrotaan haastateltavien profiloinnista ja näkökulmista lisää.

Haastatteluja aloittaessa tavoitteena oli kerätä teoriaosuuden lähteistä epäselviksi jäänyttä tietoa ja selvittää asiantuntijoiden mielipiteitä biomateriaalien käytöstä. Haastattelujen edetessä tutkimusaiheeksi muodostui biomateriaalien matkan kartoitus laboratorion rakennuskantaan. Haastatteluotannon monipuolinen asiantuntijaedustus mahdollisti sen, että koko materiaalikehityksen kirjo onnistuttiin käymään eri haastateltavien kanssa läpi: Laboratorioissa tapahtuva materiaalitutkimus, muotoilijoiden kokeellisilla materiaaleilla suunnittelu, kaupallinen materiaalisovellusten kehitystyö, materiaalien hyväksyttäminen, ympäristömerkkien tarjoama kannustus materiaalin käyttöön, materiaalien omaksuminen suunnittelutyössä ja lopulta urakoitsijoiden toteutus. Hypoteesini haastattelujen aikana muodostuneelle tutkimusongelmalle oli, että biomateriaalien matka rakennuskantaan käy kaikki edellä mainitut vaiheet läpi, jotta se voisi korvata fossiiliperäiset kilpailijansa. Koostin tiivistetyn tutkimussuunnitelman, jonka lähetin haastateltaville haastattelupyyntöjen mukana. Tutkimussuunnitelma löytyy diplomityön liitteistä.

2.3 Haastateltavien profilointi ja valitseminen

Tutkimusaiheeni vaatii monialaisuutta, joten eri alojen asiantuntijoiden näkemysten edustaminen oli erityisesti tutkimusta aloittaessa päätavoite. Tutkimustavoitteenani oli saada lisää tietoa aiheestani ja kerätä asiantuntijoiden käsityksiä biologian ja arkkitehtuurin yhdistämisen mahdollisuuksista.

Koska biomateriaaliarkkitehtuurilla on vain muutamia pioneereja maailmassa, oletin, että heidän tavoittamisensa haastattelun merkeissä olisi lähes mahdotonta. Päätin ottaa haastateltavaksi monialaisen aiheen eri ammattikuntien edustajia ja käsitellä teemaa heidän yksilöllisestä näkökulmastaan. Eri alojen asiantuntijoiden näkemykset kartoittaisivat biomateriaalien matkaa laboratoriovaiheesta mahdollisiin rakentamisen sovelluksiin. Näkökulmien teemoiksi kiteytyivät luonnontieteiden- ja tekniikanalan näkökulma, rakennusalan näkökulma sekä hallinnollinen näkökulma.

Luonnontieteiden- ja tekniikanalan näkökulman edustajat tutkivat tulevaisuuden biomateriaalitekniikoita ja niiden mahdollisuuksia. Näkökulmalle haastateltavaksi kaivattiin innovatiivista tieteen harjoittajaa, tutkijaa, joka haluaa kehittää luonnon inspiroimaa tulevaisuutta. Materiaalien asiantuntijat ovat tärkeä osa aihettani. Materiaalikehityksen ammattilaisiksi valikoitui muotoilijoita ja materiaalisovellusten kehittäjiä. Teoriatutkimuksessa esille nousseet kysymykset voitaisiin mahdollisesti esittää itse lähteen alkuunpanijalle haastattelun muodossa. Biokomposiittien mahdollisuudet rakentamisen mittakaavassa ja fotosynteesi energian lähteenä yhteiskunnassa olivat aiheita, jotka teoriatutkimusta tehdessäni herättivät paljon jatkokysymyksiä ja halua tutkia asiaa syvemmillä tasolla. Otin tavoitteekseni saada haastattelun sekä UPM:n biokomposiittien sovelluspäällikkö Eve Saarikoskelta, että fotosynteesiä tutkivalta akateemikko Eva-Mari Arolta Turun yliopistosta. Eva-Mari Aron haastattelun liitin osaksi lukua 1.2.2 bakteereista energian lähteenä, koska aihe ei suoranaisesti liity biomateriaalien rakennuskulttuuriin istuttamiseen vaan täydentää teorialieto-osiota.

Rakennusalan näkökulma on tärkeä osa biologian istuttamista rakennuskulttuuriin. Uusien materiaalien käyttö vaatii niiden käytön suunnittelua ja toimeenpanijaa. Jos materiaalille ei ole kysyntää rakennusalan tekijöillä, se ei tule yleistymään. Rakennusallalla ei ole vielä kokemusta biomateriaalien käytöstä, joten valitsin haastatteluun rakennusliikkeitä ja arkkitehtejä, joilla on taustalla ympäristöystävällisen rakentamisen tietämystä. Ajankohtainen ympäristöystävällisen rakentamisen muoto on Joutsenmerkki-rakentaminen. Joutsenmerkki on tiukkakriteerinen elinkaariajattelua tukeva ympäristömerkintä (Ympäristömerkintä Suomi Oy). Joutsenmerkki-rakennuksia on alkanut viime vuosina

valmistua Suomessa myös tehokkaassa asuinrakentamisessa, joten pyysin haastatteluja kohteiden parissa työskennelleiltä asiantuntijoilta. Rakennusliikkeen näkökulmaa edustamaan pyysin pohjoismaalaiseen konserniin kuuluvan rakennusliikkeen NCC Suomi Oy:n edustajaa sekä Joutsenmerkki-rakentamiseen erikoistuneen JM konserniin kuuluvan JM Suomi Oy:n edustajaa. NCC korostaa nettisivuillaan kestävän kehityksen mukaisen rakentamisen tärkeyttä, joten ajattelin, että aiheeni voisi kiinnostaa yhtiötä. NCC sai Vantaalla vuonna 2018 valmistuneelle VAV Asunnot Oy:n kerrostalokohteelleen Joutsenmerkin (NCC). JM Suomi Oy sai vuonna 2018 Joutsenmerkiltä peruslisenssin kerrostalokohteilleen, eli kaikki kohteet rakennetaan joutsenmerkin ympäristökriteerien mukaisesti. Kyseessä on Suomen ensimmäinen rakennusliike, jolle on myönnetty Joutsenmerkin peruslisenssi. (JM Suomi Oy) Ympäristöystävällinen rakentaminen on siis keskeinen osa JM Suomen markkinointia, joten halusin kuulla lisää yhtiön rakentamisen periaatteista. Arkkitehdin näkökulmaa ympäristöystävällisestä näkökulmasta tarjosivat Joutsenmerkkikohteiden parissa työskennelleet arkkitehdit.

Hallinnollinen näkökulma käsittää biologian rakennusosalalle istuttamisen lainsäädännöllistä puolta. Ei riitä, että todetaan uuden innovaation toimivuus ja saavutetaan kiinnostuneet tilaajat, vaan sen käyttöönottoa varten tulee olla myös sitä tukevia lakeja ja ohjeita. Ympäristöministeriö vastaa rakennuskantaa koskevasta lainsäädännöstä, joten ympäristöministeriön edustajan saaminen haastatteluun tuntui haastatteluja suunniteltaessa tärkeältä tutkimusnäkökulmalta. Halusin tietää tarkemmin rakennustuotteiden hyväksyttämisen lainsäädännöstä.

Lainsäädännön lisäksi valtion ja rakennusalan välille tarvitaan kolmas osapuoli, joka kannustaa ympäristöystävällisempään rakentamiseen. Ajankohtaisena kannustimena toimii Joutsenmerkki, joka on Ympäristömerkintä Suomi Oy:n hallinnoima pohjoismaalainen ympäristösertifikaatti (Ympäristömerkintä Suomi Oy). Haastattelu Ympäristömerkintä Oy:n kanssa avasi ekologisemman rakentamisen kriteerejä ja kannustimia.

LISTAUS HAASTATELTAVISTA JA NÄKÖKULMAT, JOITA HE EDUSTAVAT:

Luonnontieteiden- ja tekniikanalan näkökulma:

Eva-Mari Aro, akateemikko, tutkimusala: fotosynteesi, Turun yliopisto

Tiina Härkäsalmi, muotoilututkija, DWoC hanke 2013–2018: Aalto, TTY, VTT, VY

Eve Saarikoski, biokomposiittien sovelluspäällikkö, UPM-konserni

Saku Sysiö, muotoilija, Aivan Oy

Géza Szilvay, entsyymi- ja materiaalibioteknologian vanhempi tutkija, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Rakennusalan näkökulma:

Antti Jyränki, arkkitehti, Arkkitehdit Hannunkari & Mäkipaja Oy

Tero Kanervo, työpäällikkö, NCC Suomi Oy

Tero Ramstedt, projektipäällikkö, JM Suomi Oy

Harri Viljamaa, arkkitehti, Arkkitehtitoimisto Kanttia 2 Oy

Hallinnollinen näkökulma:

Karin Bergbom, kriteeripäällikkö, Ympäristömerkintä Suomi Oy

Mikko Koskela, hallitussihteeri, rakennetun ympäristön osasto, Ympäristöministeriö

HUOM: Kaikki haastateltavat ovat osallistuneet haastatteluun yksityishenkilöinä. Heidän mielipiteensä ei edusta työskentelemänsä yhtiön tai yrityksen virallista kantaa.

2.4 Teemahaastattelut ja analyysi

Haastattelujen päätavoitteeksi tuli muodostaa tiekartta, joka kuvastaa biomateriaalin matkaa laboratorioista rakennuskantaan. Tiekartta löytyy diplomityön yhteenvedoista luvusta 3.2. Jo haastatteluprofiileita hahmotellessa tuli selväksi, ettei jokaiselta haastateltavalta kysyä samoja kysymyksiä. Haastatteluteematkin vaihtelevat haastateltavan edustaman näkökulman mukaan. Seuraavat alaluvut käsittelevät kokeellisilla materiaaleilla suunnittelua kahdessa eri esimerkkitapauksessa. Sen jälkeen käydään läpi UPM:n edustajan kanssa biomateriaalin sovellusten kehittämistä yritysmaailmassa. Rakennusmateriaalien hyväksyttämistä avaavan luvun jälkeen pohditaan kannustinta biomateriaaleille ja ympäristöystävällisen rakentamisen näkökulmaa Joutsenmerkin kautta. Lopuksi käydään läpi tuloksia haastateltavien asenteista biomateriaaleja kohtaan ja heidän arvioitaan siitä, miten yhteiskunta suhtautuisi biomateriaaleihin. Tulokset löytyvät luvusta 2.4.6.



Kuva 24. Korvaa-kuulokkeissa fossiiliperäiset materiaalit ja nahka on korvattu biopohjaisilla ja mikrobi-peräisillä tuotteilla. (Aivan Oy)

2.4.1 Kokeellisilla materiaaleilla suunnittelu

Materiaalit, joita diplomityössäni lähdin tutkimaan ovat laajalti laboratoriovaiheen materiaaleja, joista on tehty lähinnä prototyypisuunnitelmia tutkimuksia tukemaan ja havainnollistamaan. Koska projekteissa ollaan kaukana mukavuusalueelta, monialaisen yhteistyön tärkeys korostuu. "Korvaa" on synteettisen biologian tutkimuksen kehittämä prototyypikuuloke, joka koostuu täysin biomateriaaleista. Projekti on tieteen ja designin taidonnäyte, jonka toteutti VTT Oy ja Synbio Powerhouse yhteistyössä designista vastaavan Aivan Oy:n kanssa. (Lampela, 2019) Synbio Powerhouse on synteettisen biologian työryhmä, jonka tavoitteena on kehittää bioteknologiaan perustuvaa bisnesmaailmaa kestävämmän maailman puolesta. (Synbio Powerhouse) Korvaa-kuulokkeet projektissa erityisesti materiaalitutkimuksen ja muotoilun tiivis kommunikointi oli välttämätöntä, jotta aikaan saatiin tuote, joka toimii ja puhuttelee.

Käsittelin työprosessin kulkua ja haasteita projektin materiaalitutkijan, VTT:n bio- ja elintarvikeyksikön erikoistutkija Géza Szilvayn kanssa, sekä prototyypin muotoilijan, Aivan Oy:n tuotesuunnittelun päällikkö, Saku Sysiön kanssa. Molemmat olivat sitä mieltä, että projekti oli poikkeuksellinen ja opettavainen. Prosessin aikana koetut haasteet kehittivät ammatillisesti ja lopputuloksesta saatiin tiiviillä yhteistyöllä toimiva.

Korvaa-kuulokkeiden valmistuksessa käytettiin biosynteettisiä materiaaleja, jotka voisivat korvata fossiiliperäisistä aineista valmistetut muovit ja eläinten nahkatuotteet. Projekti luotiin kasvattamaan julkisuutta kokeellisten biomateriaalien ja laboratorioissa tapahtuvan kehitystyön ympärillä. Monialaisen tutkimus- ja suunnittelutiimin lisäksi projektin do-

kumentoinnista ja julkisesta levittämisestä vastasi Fotoni Film & Communications. Koh- teeksi valittiin päivittäisestä käytöstä tutut kuulokkeet, koska projektissa haluttiin koros- taa biomateriaalien mahdollista käyttöä jokapäiväisissä tuotteissa. Kuulokkeet ovat laite, joka vaatii käyttömukavuutta, teknistä toiminnallisuutta ja miellyttävää ulkonäköä, jotta kuluttaja kokee ne mieluiseksi. Siksi kuulokkeet olivat hyvä koealusta erityyppisten ma- teriaalien testaukseen. (Korvaa) ”Projektissa tutkittiin ja kehitettiin erilaisia mikrobiopro- sesseja pehmeiden, kovien, vaahtomaisten ja nahanomaisten materiaalien luomiseksi.” (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, 2019)

Äänentoistoon tarkoitettu laite on jo markkinoille saapuneita biosynteettisistä materiaa- leista valmistettuja kertakäyttöastioita astetta monimutkaisempi objekti, joten projekti he- rätti myös laajasti huomiota mediassa sekä Suomessa, että kansainvälisesti. Suomessa laite oli nähtävillä mm. Helsinki Design Week 2019 -näyttelyssä (Teknologian tutkimus- keskus VTT Oy, 2019) ja laitteesta julkaistiin artikkeleja Amerikassa, Euroopassa ja Aasiassa useissa nimekkäissä design- ja talouslehdissä, kuten Business Insider, Dezeen sekä The Guardian (Korvaa). Prototyyppi saavutti siis valmistuksensa tarkoitus- perän: huomiota biosynteettisten materiaalien käyttömahdollisuuksille.

Kuva 25. Korvaa-kuu- lokkeiden materiaalit ilman valkoista pinta- kerrosta. Valkoinen materiaali on PLA- muovia, ruskeat ovat mycelinahkaa ja kel- lertävä osa on bio- komposiittia. Kuulo- ketta suojaava kalvo on synteettistä hämä- häkinsilkkiä. (Aivan Oy)



Kuulokkeiden jäykät osat valmistettiin 3D-tulostamalla ne jo markkinoilta laa- jasti löytyvästä biohajoavasta PLA- muovista. Materiaali on valmistettu, leiviniivana tunnetusta, hiivasta tuo- tetusta maitohaposta. Tuotantopro- sessin raaka-aineena voitaisiin jatko- kehittelyn tuloksena käyttää hiilidioksi- dia, jolloin muovin valmistus olisi hiiltä sitova prosessi. (Korvaa) Jos hiiltä si- tova muovinvalmistus onnistuu, voitai- siin muovisia tuotteita tuottaa suljettu- jen tuotantoketjujen periaatteen mu-

kaisesti. Muovin valmistuksessa sidottaisiin hiiltä ja tuotteen käyttöiän päätyttyä se voi- taisiin maaduttaa. Liiallinen ympäristöystävällisyys brändin korostaminen voi kuitenkin aiheuttaa vääränlaista toimintaa kuluttajien keskuudessa. Esimerkiksi mereen heitetty PLA-muovirooska voi säilyä viileässä merivedessä vuosia, koska sen täydellinen hajoa- minen vaatii kompostin kaltaiset lämpimät olosuhteet. (Toivanen, 2019). On siis tärkeää,

että kuluttajille tehdään selväksi, ettei ympäristöystävällisillä ja biohajoavilla tuotteilla tarkoiteta, että tuotetta saa kohdella roskaamiseen sopivana tuotteena.

Kuulokkeisiin tuotettiin uusi huokoinen ja kevyt biokomposiitti, joka koostuu bakteerien tuottamasta selluloosasta ja sienirihmastosta. Mikrobin tuottama selluloosa on kasvien tuottamaa selluloosaa nopeampi tuottaja, joten sen soveltaminen teollisuus käyttöön olisi luonnonsellua tehokkaampaa massatuotannossa. (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, 2019) Kun mikrobisellun sekoittaa yhteen bioreaktorissa kasvatetun sienirihmaston kanssa, kuivunut komposiitti on kevyttä ja kovaa. (Korvaa)

Kuva 26. Vaahtoinen aine asetettiin muottiin, jossa se kuivui korvapehmusteelle haluttuun donitsimuotoon. (Korvaa)



Korvia suojaava vaahtomainen pehmuste valmistettiin yhdistämällä *Trichoderma reesei* -sienen tuottamaa vaahtoproteiinia ja selluloosaa. (Szilvay, 2019) Hydrofobiini-proteiini on luonnostaan sienissä esiintyvää vaahtoa tuottava aine, joka auttaa sienirihmastoa muodostamaan sien maanpäällisen itiöemän. Kun vaahtoavaan

proteiiniin sekoitetaan selluloosaa, vaahtosta muodostuu pysyvä vaahto, joka ei menetä kuohkeuttaan kuivumisen jälkeen. (Korvaa) Vaahto muistuttaa rakennusten liitoskohdissa käytettävää vaahtoeristettä polyuretaanivaahtoa. Haastattelussa kysyin Szilvayltä voisiko materiaali korvata esimerkiksi polyuretaanivaahdon rakentamisessa. Hän sanoi, että se on mahdollista, mutta materiaali sitoo enemmän vettä kuin esimerkiksi vaahtorainatut vaahtomateriaalit, joten materiaalin sovellusta ei todennäköisesti kehitetä eriste-vaahdoksi. Vaahtorainauksessa vaahtomateriaalia tuotetaan selluloosasta saippualla. Kuulokkeissa haluttiin kuitenkin näyttää esimerkki vaahtomaisesta materiaalista, jonka ominaisuus on täysin luonnosta peräisin.

Kuva 27. Nahan korvike valmistettiin sienirihmastosta. (Korvaa)



Perinteisesti kuulokkeiden vaahtopehmusteen suojana käytetään nahkaa tai fossiiliperäisesti tuotettua tekonahkaa. Korvaa-kuulokkeiden nahka on valmistettu lahottajasieniin kuuluvan nukkaorvakan *Phanerochaete*-sienen rihmastosta. (Korvaa) "Mycelinahka" oli Szilvayn mukaan täysin mikrobivalmisteinen.

Korvaa-projektin kaltaiset tuotteet ovat syntyneet tutkimuksen edistämistä ja tiedottamista varten, mutta tuotteiden kaupallistuminen voi olla lähempänä kuin uskomme. Szil-

vay ja Sysiö mainitsivat, että Korvaa-kuulokkeissa käytetyistä materiaaleista ainakin sieninahkamateriaaleja ja hämähäkinsilkkiä yritetään jo tuottaa vaateteollisuudessa, tosin vielä pienimuotoisia eriä. Hämähäkinsein ominaisuuksia jäljittelemällä on kehitetty mikrobiologisesti tuotetusta silkistä kehrätty biosynteettinen silkkikalvo (Lampela, 2019). Szilvay kertoi, että hämähäkinsilkin vahvuus vastaa kevlaria eli luotiliivien materiaalin vahvuutta. Korvaa-kuulokkeissa hämähäkinsilkkikalvo suojaa kuulokeosaa. Synteettinen hämähäkinseitti on Szilvayn mukaan yksi projektin materiaaleista, jonka tuotantoa maailmalla yritetään kovasti kasvattaa. Esimerkiksi Spiber on yritys, joka on tuottanut The North Face -muotitalon kanssa viisikymmentä parkatakkia synteettisestä hämähäkinsilkistä (Hahn, 2019). Bolt Threads on sieninahkafirma, joka tuottaa muun muassa tekonahkalaukkuja sienirihmastomateriaalista. Vuonna 2018 yhtiö suunnitteli sieninahkalaukun yhteistyössä muotisuunnittelija Stella McCartneyn kanssa. (Bolt Threads)

Szilvay ja Sysiö arvioivat, että biomateriaalit yleistyvät sitä mukaan, kun niiden tuotantomääriä onnistutaan kasvattamaan ja niiden hinta laskee saavutettavammaksi. Sysiö arvioi, että materiaalit korvaavat fossiiliset yksi kerrallaan, helpoiten tuotettavasta vaikeampiin aineisiin. Prosessin vauhdittamiseen tullaan todennäköisesti tarvitsemaan valtion tukea. Szilvay kuitenkin huomauttaa, että ajatusmalli, jossa haetaan fossiiliperäisille materiaaleille suorituskyvyltään parempia korvaajia, on vahingollinen. Kun materiaalilla on huomattavasti alhaisempi hiilijalanjälki kuin fossiiliperäisellä ja kestävän kehityksen mukainen elinkaarimalli, tulisi nämä tekijät tunnistaa rahan arvoisina ominaisuuksina, eikä vertailla vain fossiiliperäisen ja uuden materiaalin välisiä laatueroja.

Mikrobimateriaaleissa, joissa materiaalia tuottaa elävä organismi, herää kysymys, miten materiaalia tulee riittämään, kun se saavuttaa teollisen tuotannon mittakaavan. Szilvay sanoo, että elävän aineen kasvatus on itsessään loputtomiin mahdollista. Eliöt toimivat jakautuvina ja monistuvina solutehtaina, mutta riittävyyden haasteena on eliölle syötettävän ravinnon riittävyys. Jotta lopputuote olisi kestävän kehityksen mukainen, ravintoaine ei saa olla ihmisillekin kelpaavaa ruoka-ainetta, vaan ravinteen tulee olla esimerkiksi maa- tai metsätalouden sivutuotetta.

Kysyin myös tutkija Szilvayltä biomateriaalien riskeistä ja siitä, miten geenimuunneltujen ja mikrobivalmisteisten materiaalien riskejä voidaan ehkäistä. Hän vastasi, että mikrobimateriaaleissa, joissa materiaalin tuottanut organismi kuoletaan prosessin päätteeksi, ei ole riskiä siitä, että eliö jatkaisi jakautumistaan tai päätyisi luontoon vaarantamaan luonnon omia lajeja. Toinen arveluttava riski etenkin rakentamisen näkökulmasta on homekasvusto. Kun kyseessä on sienirihmastomateriaalit, kasvuolosuhteet homesie-

nillekin voivat olla suotuisat. Szilvay vastasi, että homesienien allergeenit aiheuttavat niiden levittämät itiöt. Kun sienirihmasto on tapettu, se ei tuota itiöitä. Joten kun sienirihmastorakenne kuoletetaan kasvun päättämiseksi, ei ongelmia itiöiden kanssa ole. Jotkut materiaalit on pakko kuolettaa, jotta ne ovat turvallisia ja toimivia. Biomateriaaleista suurin osa täytyy siis kuivatetun puutavaran tavoin deaktivoida ennen rakennuskantaan istuttamista.

Kokeellisilla materiaaleilla suunnitteleminen sai aikaan haasteita niin suunnittelun kuin tutkimuksenkin kannalta. Pohjimmiltaan työprosessi oli kuitenkin antoisa. Molempien osapuolien työpanos oli projektissa tärkeää; Muotoilijat auttoivat kehittämään uusia materiaalin käyttösovelluksia ja haastoivat materiaalitutkijat, jotka yrittivät vastata muotoilijoiden antamiin materiaaliominaisuusvaatimuksiin ja toivomuksiin. Haasteita kokeellisten materiaalien kanssa suunnittelussa oli molemmilla osapuolilla. Sysiö kertoi, että tavanomaisessa suunnittelutoimeksiannossa muotoilija tietävät, mikä materiaali sopii mihinkin tehtävään parhaiten ja materiaalien ominaisuudet ovat kaikilla osapuolilla tiedossa. Korvaa-kuulokkeita suunnitellessa jouduttiin jatkuvasti testaamaan materiaalin muotoilutekniikkaa, muottivalua tai jysintää. Jos materiaalinäyte ei onnistunut, jouduttiin pyytämään reseptin muutosta tutkijoilta tai muuttamaan valmistustekniikkaa. Tutkijat sen sijaan joutuivat tekemään huomattavasti suurempia määriä materiaalia kuin petrimaljanäytteet, joita tavallisessa tutkimustyössä tuotetaan. Materiaalitutkija Szilvay huomautti, että tutkijat eivät normaalitilanteessa tutki materiaaleja käytännön sovelluksissa, vaan tutkivat itse materiaalia ja niiden valmistusta.

Haasteiden tuloksena oli molemmille osapuolille uudenlaista ajattelua; Muotoilijoille ei riittänyt, että tutkijoiden näyte ainoastaan onnistui, vaan sen täytyi myös toimia annettussa tehtävässä, mikä johti materiaalien muokkaamiseen pidemmälle. Muotoilijoille materiaalin käyttösovellus ei ollut lähtötilanteessa yksiselitteistä, vaan täytyi testata, mitä materiaalista voidaan tehdä ja miten sitä pitää muokata, jotta tuotteesta saadaan toimiva. Suunniteltaessa kokeellisilla materiaaleilla suunnitellaan materiaalin ehdoilla, mutta sitä kehitetään suunnitteluprosessissa käyttöön soveltuvammaksi. Tämä vaatii tiivistä yhteistyötä suunnittelun ja tutkimuksen välillä.



Kuva 28. Nanoselluloosasta muotoiltu aaltomuoto. (Eeva Suorlahti)

2.4.2 Kokeellisilla materiaaleilla suunnittelu - nanoselluloosa

Tiina Härkäsalmi on väitellyt muotoilututkija, joka osallistui DWoC-tutkimushankkeeseen. Tutkimushankkeen rahoitti Tekes, nykyään Business Finland, ja siihen osallistuivat VTT, Aalto-yliopisto, Vaasan yliopisto ja Tampereen teknillinen yliopisto. Härkäsalmi kehitteli erilaisia prototyyppejä nanoselluloosasta, joista polkupyörän prototyyppi sai eniten huomiota mediassa. Halusin haastatella muotoilun asiantuntijaa, jolla on kokemusta kokeellisten biomateriaalien käytöstä muotoilutyössä. Prosesseja vertailtaessa ilmeni paljon yhtäläisyyksiä Korvaa-projektin haasteisiin, vaikka materiaali on täysin eri.

Härkäsalmi korostaa, että suunniteltaessa uudella materiaalilla on tärkeää löytää oikea käyttötarkoitus materiaalille ja suunnitella materiaalilähtöisesti. Uusia käyttötarkoituksia etsiessä pyrittiin ymmärtämään materiaalin luontaisia ominaisuuksia ja prosessoitavuutta. Nanoselluloosan kanssa suunniteltaessa tuli ottaa huomioon useita ominaispiirteitä, jotka vaikuttavat valmistustekniikkaan merkittävästi. Myös Korvaa-kuulokkeissa materiaalien ominaisuudet ja käyttötarkoitus kulkivat käsi kädessä suunnittelussa. Erona projekteissa oli se, että Härkäsalmen tehtävänä oli keksiä käyttötarkoituksia tietylle materiaalille, nanoselluloosalle, kun taas Korvaa-kuuloke-projektissa haluttiin tuottaa kuulokkeet. Molemmista tapauksista kuitenkin voitiin tarvittaessa muokata materiaalien reseptejä tai valmistustapaa käyttötarkoitukseen sopivammaksi. Härkäsalmi pystyi vaikuttamaan materiaalin soveltuvuuteen esimerkiksi lisäämällä seokseen erilaisia turvallisia kemikaaleja.

Tutkiessaan nanoselluloosaa, Härkäsalmi totesi, että sen kuiva-aineprosentti on huomattavan alhainen, vain muutamia prosentteja. Kappaleiden kuivaaminen vie valtavat määrät energiaa ja muotteja suunniteltaessa tulee ottaa huomioon kontrolloitu veden poisto. Vesipitoisuus vaikutti paljon tuotteiden valmistustekniikan suunnitteluun ja kehitykseen.

Kuva 29. Härkäsalmen kehittämää nanoselluloosaputkirakennetta käytettiin polkupyörän runkona. (Eeva Suorlahti)



Härkäsalmi kehitti nanoselluloosasta erittäin kestävä ja kevyen putkirakenteen, josta valmistettiin prototyyppipolkupyörärunko ja jakkara. Nanoselluloosa toimii erityisen hyvin rakenteissa, joissa vaaditaan kevyttä ja kestävää materiaalia, kuten polkupyörässä, koska materiaalin vahvuus vastaa alumiinia (Kangas, 2014, s. 25). Prototyyppi polkupyörän rungosta ei kestä vettä, mutta Härkäsalmi ei halunnut pilata biopohjaisia prototyyppisiä epoksipäällysteillä.

Epoksi on kertamuovia, jossa hartsin ja kovetteen välillä tapahtuu lämpöä vapauttava eksotermiäinen reaktio (Muoviteollisuus ry). Härkäsalmi uskoo, että vedeneristys ja pinnoitteet ovat tulevaisuudessa ratkaistavissa biopohjaisilla materiaaleilla.

Toinen sellun käyttötapana, jota Härkäsalmi tiiminsä kanssa tutki, oli vaahtorainaus. Vaahtorainaus on vanha paperinvalmistustekniikka, joka keksittiin jo 70-luvulla, mutta jätettiin pitkäksi ajaksi hyödyntämättä (Krabbe, 2017). Vaahtorainauksessa seokseen lisätään ilmaa, jolloin vettä, ja sen kuivaamiseen vaadittavaa energiaa, kuluu vähemmän (Heikkilä, 2012). Paperin valmistusprosessin alkuvaiheessa seoksessa on perinteisesti 99 prosenttia vettä ja vain yksi prosentti kuitua. Vaahtorainauksessa seokseen lisätään jopa 70 prosenttia ilmaa, jolloin materiaalin ominaisuudet voivat heiketä radikaalisti. (Heikkilä, 2012)

Vaahtorainauskokeissa Härkäsalmi kehitti materiaalin värjäysmenetelmiä ja halusi haastaa materiaalin muodonantoa. Hän suunnitteli tiiminsä kanssa erilaisia muotteja, jotka toimisivat materiaalin kanssa. Erityisesti veden haihtuminen tuli muottisuunnittelussa ottaa huomioon.

Tutkimuksissa havaittiin, että materiaalilla voidaan saavuttaa laaja skaala eri kokoisia ja muotoisia kappaleita esimerkiksi 3D-tulostetuilla muotteilla. Vaahtorainauksella valmistettuja lopputuotteita voidaan kustomoida käyttötarkoitukseen sopiviksi muokkaamalla tiheyttä, lämmöneristysominaisuuksia, läpäisevyyttä ja äänen absorbointia. Koska kappaleet ovat täysin sellupohjaisia, voidaan tuote helposti kierrättää ja

Kuva 30. Vaahtorainattuja ja värjättyjä tetraedreja. (Eeva Suorlahti)



käyttää uudelleen elinkaarensa päässä. (Cellulose From Finland)

Vaahtorainatut tuotteet soveltuvat erityisesti akustiikkatuotteiksi. Huokoinen materiaali ja yksityiskohtaisten muottien mikro ja makromuodot pehmentävät tehokkaasti huoneen äänimaailmaa. Sellu eristää lämpöä puun tavoin, joten vaahtorainattuna, sitä voitaisiin käyttää tehokkaana eristeenä. Värjääminen ja vapaa muodonanto voisi piristää akustista tilasuunnittelua.

Härkäsalmi korostaa yhteistyön tärkeyttä kokeellisissa suunnitteluprojekteissa. Eri alan asiantuntijat tuovat projektiin monipuolista osaamista, mutta jokaisella on käytössään oman alan slangi, jota toinen ryhmänjäsen ei välttämättä ymmärrä. Yhteistyön aluksi tulee muodostaa työympäristö, jossa kaikkien on turvallista olla ymmällään. Yhteistyö on tiivistä ja jokaisella on omat vahvuudet. Samoja yhteistyön periaatteita korostivat myös Korvaa-projektin tiimiläiset. Muotoilijat toivat hankkeisiin käytännön sovellusten näkökulmaa ja uusia ideoita. Tutkijat luonnontieteiden ja tekniikan alalta taas kehittivät materiaaliominaisuuksien reseptejä haluttuun suuntaan. Kaikkien työpanos on kehityksen kannalta tärkeää. Näistä kahdesta esimerkitapauksesta opimme, että kokeellisilla materiaaleilla suunnitteleminen ja materiaalikehitys ovat monialaosaamista vaativa tehtävä.



Kuva 31. UPM Formi 3D:n tulostus käynnissä 3D-tulostimella. (UPM)

2.4.3 Laboratoriosta kaupalliseksi tuotteeksi - biokomposiitit

Biokomposiitit ovat materiaaleja, joita on viimeisen vuosikymmenen aikana noussut käyttöön päivittäistuotteissa ja materiaali on saavutettavissa niin yksityisillä kuin yritysmarkkinoillakin. UPM on yritys, joka tekee biokomposiittien kanssa kehitystyötä Suomessa, joten halusin heiltä haastattelun biopohjaisen materiaalin kaupallisesta kehitystyöstä. Haastateltavanani oli UPM biokomposiittien sovelluspäällikkö Eve Saarikoski.

Kysyin Saarikoskelta, miten UPM on päätenyt kehittämään 3D-tulostusmateriaalia. Saarikoski selosti, että UPM on historialtaan paperinvalmistaja, joka on vuosien varrella alkanut kehitellä sivutuotteilleen hyötykäyttöä ja mahdollisia jatkojalostuskeinoja. Sen myötä yritys on jakautunut myös pienempiin yksiköihin, joihin myös UPM biokomposiitit kuuluvat. UPM biokomposiittien alle kuuluvat komposiittilankut terassikäyttöön sekä UPM Formi granula, jota hyödynnetään ruiskuvalussa. UPM formista on jatkoehitetty 3D-tulostukseen soveltuva materiaali, jota pääasiassa käsitelimme haastattelussa. UPM Formi biokomposiittimateriaali kehittyi, kun huomattiin, millaisia ominaisuuksia sellukuitu antaa perinteisille muovivalmisteille. Sellun lisääminen parantaa koostumuksen jäykkyyttä, antaa hyvät akustiset ominaisuudet ja puunomaisen tunnun ja värin.

UPM Formi on ruiskuvalulaatu, joka sisältää biopohjaista polypropeenä eli PP-muovia ja sellukuitua. UPM Formin valmistuksessa käytetään biopohjaista polypropeenä, joka tuotetaan bionaftasta. UPM BioVerno -naftaa saadaan paperin valmistuksen hukkatuotteena. Se on fossiilisten polttoaineiden korvaaja ja peräisin uusiutuvasta lähteestä, mäntyöljystä. (UPM) Mäntyöljyä on ylistetty Suomen mediassa, mutta sen arvioidaan riittävän vain Suomen sisäisen muovinvalmistuksen tarpeisiin, mutta ei vienniksi asti (Blom, 2020). Biopohjaista ja fossiiliperäistä polypropeenä on kuitenkin vaikea erottaa toisistaan, koska niiden ominaisuudet ovat identtiset. Jos halutaan varmistaa, että tuote on

Kuva 32. UPM Formi 3D granulaatti. (UPM)



bioperäinen, tulee pitää huolta tuotantoketjujen ekologisuudesta. Alkuperän jäljitys on ekologisia tuotteita tuottaessa tärkeää.

UPM Formin pohjalta päätettiin kehittää 3D-tulostukseen sopiva biokomposiittimateriaali. Jotta biokomposiitille saatiin 3D-tulostukseen toimivat ominaisuudet, lisättiin seokseen PLA-muovia, eli synteettistä biohajoavaa muovia (Muoviteollisuus ry).

UPM Formi 3D biokomposiitit eivät ole täysin biohajoavia ja ovat elinkaarensa päätteeksi energijätettä. Saarikoski kuitenkin huomauttaa, että materiaalia pystytään murskaamaan käytön jälkeen ja sekoittamaan noin 25 % seuraavaan seokseen. Eli materiaali on uudelleenkäytettävää, mutta sen vahvuus heikkenee muovin kaltaisesti uudelleenvalmistuskertojen myötä.

Saarikosken mukaan biokomposiittimateriaali ei olisi, ainakaan sellaisenaan sovellettavissa kokonaisvaltaiseen rakentamiseen, jossa elementti olisi itsessään kantava. Sen sijaan UPM kehittää 3D-tulostettavaa muotinvalmistusta rakentamiseen, kuten betonivaluun. Muotin tulostettavuus ja käytön jälkeinen murskaus ja uudelleenkäyttö mahdollistaisi täysin jätteettömän muotin käytön. Tulostettu muotti ei tuota hukkapaloja ja muotin materiaalia voidaan käyttää uudelleen useita kertoja. Biokomposiitin rakentamisen sovelluksia on kehitetty vain pintamateriaalien ja muottiteknikan suuntaan, koska



Kuva 33. ruotsalaisen kajakkivalmistaja Melkerin kanssa valmistettiin prototyyppi UPM Formi 3D:lla. Materiaalia tulostaa suuren mittakaavan tulostuksia tekevä robotti. (upmformi.com)

rakentamisen standardit vaikeuttavat kaupallista kehitystyötä, selvensi Saarikoski. Rakennustuotteiden hyväksyttämisen lainsäädäntöä käsitellään lyhyesti seuraavassa luvussa.

Jos biokomposiitista ehdottomasti haluttaisiin rakentaa yksiaineinen ja suuria kuormia kantava kappale, Saarikoski ehdottaisi biokomposiittitulosteen vahvistamiseen laminointia. Tällöin tulostusprosessin aikana kuorman kantavuuden kannalta kriittisiin kohtiin lisät-

täisiin laminointipäällä tukiainetta, joka vahvistaisi biokomposiitin kantokykyä. Laminointia kokeiltiin ruotsalaisen kajakkivalmistajan kanssa. Kokeilussa biokomposiittia tulostettaessa kajakkiin lisättiin biopohjaista epoksia ja laminointia, jolloin saatiin vahvuutta kapaleeseen.

Saarikosken mielestä rakentamisen sovellukset materiaalilla voisivat olla hyvän akustikan, lämmön ja vapaan muodonannon kannalta pintamateriaaleja. Suurilla teollisilla 3D-tulostimilla voidaan tehdä kuuden metrin mittaisia tulostuksia, joten suuremmatkin yhtenäiset pinnat ovat mahdollisia. Eri kysymys on materiaalin kilpailukyky. Suuren mittakaavan julkiset projektit, jotka ovat kaupunkikuvallisesti ja valtiotason ulosannin kannalta merkittäviä, voisivat hyötyä innovatiivisesti suunnitelluista akustisista alakatto ja seinälevyistä, mutta yksityiseen ja asuinkäyttöön tuskin hankittaisiin mittatilattuja pinnoitustuotteita.

Saarikosken haastattelusta opin kaupallisen materiaalin sovelluksien kehitystyöstä. Kestävämpiä markkinoita edistettäessä erityisesti tuotteen alkuperän selvittämiseen tulee kiinnittää huomiota, jotta tuote tosiasiaassa on ekologisesti valmistettu kuten bionaftan tapauksessa, missä fossiiliperäinen verrokki on samankaltainen. Kaupallisia tuotteita kehitellessä myös hyväksyttäminen ja hallinnon asettamien kriteerien saavuttaminen ovat osa sovelluksien kehittämistä. Kehitystyössä täytyy pohtia, minkä tuoteryhmän kriteerit materiaali kykenee saavuttamaan ja kuinka työläs hyväksyttämismprosessi on saavutettavaan tuottoon nähden. Innovatiiviset kaupalliset käyttösovellukset eivät myöskään aina ole myytäviä lopputuotteita, vaan palveluita muille yrityksille, esimerkiksi muotinvalmistusta rakentamisen käyttöön. Saarikoski huomautti, että UPM Formi 3D on ennen kaikkea yrityksille suunniteltu työväline. Heidän asiakkaansa ovat muita yrityksiä, jotka tarvitsevat tuotteelleen sopivan raaka-aineen. UPM on onnistunut kehittämään biomateriaalista kaupallisen myyntituotteen. Laboratoriovaiheen biomateriaalit voivat seurata biokomposiitin kaltaisia esimerkkejä, jotta nekin pääsevät muuttamaan markkinoita hiilineutraalimpaan suuntaan.



Kuva 34. Mogunsienuhmasmateriaalia seinäpanelissa (Mogu)

2.4.4 Materiaalista hyväksytyksi rakennustuotteeksi

Tähän asti tutkimuksessa on käyty läpi biomateriaalien vaiheet laboratoriosta prototyyppituotteeksi ja kaupalliseksi tuotteeksi. Ennen kuin tuote kuitenkaan pääsee markkinoille, sen on läpikäytävä tietty välivaihe – tuotehyväksyntä. Haastattelin rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä ympäristöministeriön rakennetun ympäristön osaston hallitussihteerinä Mikko Koskelaa ja Joutsenmerkin kriteeripääällikköä Karin Bergbomia. Mikko Koskelan kanssa puhuimme EU:n rakennustuoteasetuksesta, sisämarkkinalainsäädännöstä ja kansallisesta tuotehyväksyntälainsäädännöstä, joka vaikuttaa rakennustuotteisiin Suomessa. Karin Bergbomin kanssa käsitelimme Joutsenmerkin hyväksyttämiskriteerejä ja prosessia, jonka Joutsenmerkkikohteisiin päätyvät rakennusmateriaalit käyvät läpi. Joutsenmerkin kriteerit ovat aina lainsäädäntöä tiukempia.

Ympäristöministeriön rakennetun ympäristön hallitussihteerinä, Mikko Koskela, kertoi haastattelussa rakennustuotehyväksynnän lainsäädännöstä Suomessa. Erillistä lainsäädäntöä rakennusmateriaalien hyväksynnälle ei ole, vaan lainsäädäntö keskittyy pääosin valmiisiin lopputuotteisiin. Materiaalivaatimuksia lopputuotteilla kuitenkin voi olla esimerkiksi koskien vesi- ja viemäriverkostoja. Rakennustuotteet käyvät läpi kelpoisuusarvioinnin, jossa tarkistetaan, että tuote täyttää tekniset vaatimukset rakenteiden lujuudesta ja vakaudesta, paloturvallisuudesta, terveellisyydestä, käyttöturvallisuudesta, esteettömyydestä, ääniolosuhteista ja energiatehokkuudesta (Ympäristöministeriö). Ennen kaikkea varmistetaan tuotteen terveellisyys ja turvallisuus, Koskela huomauttaa. Hän painottaa, että tuotehyväksynnässä tuotteet lähtevät samalta viivalta, vaikka materiaali olisi uusi tai ennestään tuntematon. Rakennustuotehyväksyntä osoitetaan joko CE-merkinnällä tai kansallisella hyväksyntämenettelyllä, jonka saavuttamistapoja on kolme (Ympäristöministeriö).

”EU:n rakennustuoteasetus koskee niitä rakennustuotteita, joille on harmonisoidut tuotestandardit tai joille valmistaja on hakenut eurooppalaisen teknisen arvioinnin” (Ympäristöministeriö). ”CE-merkinnällä tuotteen valmistaja vakuuttaa, että tuotteen ominaisuudet ovat eurooppalaisen harmonisoidun tuotestandardin tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaiset”, määritellään ympäristöministeriön nettisivuilla (2020). CE-merkintä vaaditaan EU-alueella kaikilta rakennustuotteilta, jotka kuuluvat harmonisoidun tuotestandardin soveltamisalaan. Jos tuote kuuluu tuoteryhmään, jolla on CE-merkinnän standardit, tuote tulee testata tuotestandardin mukaisella testimenetelmällä. Tuotetestauksia Suomessa suorittavat ympäristöministeriön ilmoittamat ja valvomat laitokset. Kun testaus on onnistunut kriteerien mukaisesti, tuotteen valmistaja laatii suoritustasoilmoituksen ja kiinnittää tuotteeseen CE-merkinnän. Harmonisoinnin takia suoritustasoilmoituksia vertailemalla suunnittelija tai kuluttaja voi selvittää, mikä tuote sopii hänen rakennuskohteeseensa. Valmistaja on vastuussa CE-merkityn tuotteen laadunvalvonnasta ja testauksesta. CE-merkinnän väärinkäyttöä ja markkinoiden tuotteiden laatua valvoo Suomen Turvallisuus ja kemikaalivirasto TUKES. (Ympäristöministeriö)

”Kun rakennustuote ei kuulu harmonisoidun tuotestandardin soveltamisalaan tai sille ei ole eurooppalaista teknistä arviointia (ETA)”, kansalliset hyväksyttämismenettelyt perustuvat lakiin eräiden rakennustuotteiden hyväksynnästä (954/2012). (Ympäristöministeriö) Koskela huomauttaa, että kansallinen tuotehyväksyntä on vapaaehtoinen, joten rakennustuotteita voidaan tuoda markkinoille myös ilman todistusta hyväksynnästä. Kansallisen tuotehyväksynnän mukainen rakennustuotteen kelpoisuus voidaan todeta tyyppihyväksynnällä, varmennustodistuksella tai valmistuksen laadunvalvonnan varmentamisella (Laki eräiden rakennustuotteiden hyväksynnästä, 954/2012, 3 §). Rakennuspaikkakohtaisen kelpoisuuden osoittamisen tapauksessa rakennushankkeeseen ryhtyvän täytyy selvittää rakennuspaikkakohtaisesti, että tuote täyttää sitä koskevat tekniset vaatimukset, jos tuotteen kelpoisuus ei ole muutoin osoitettu. Rakennusvalvontaviranomainen voi velvoittaa hankkeeseen ryhtyvän osoittamaan, että tuote täyttää tekniset vaatimukset, jos on syytä epäillä, että tuote ei täytä olennaisia teknisiä vaatimuksia. (Laki eräiden rakennustuotteiden hyväksynnästä, 954/2012, 17 §) Vapaaehtoisella kansallisella tuotehyväksynnällä tuotteen valmistaja säästää rakennushankkeeseen ryhtyvän teknisten vaatimusten selvitystyöltä, mikä voi edistää tuotteen käyttöönottoa markkinoilla. Tyyppihyväksynnällä tai varmennustodistuksella voidaan yksinkertaistaa rakennusvalvontaviranomaisen toimenpiteitä (Laki eräiden rakennustuotteiden hyväksynnästä, 954/2012, 6 §, 12 §). Valmistuksen laadunvalvontaa käytetään, kun kelpoisuutta ei voida osoittaa tyyppihyväksynnällä tai varmennustodistuksella (Laki eräiden rakennustuotteiden hyväksynnästä, 954/2012, 15 §).

Joutsenmerkkihyväksyttämisessä säilyvät samat periaatteet kuin lainsäädännössäkin. Joutsenmerkki myönnetään vain lopputuotteelle eikä erikseen materiaalille. Joutsenmerkin kriteeripäälikkö Karin Bergbom kertoi tarkemmin, miten uuden tuotteen tai materiaalin hyväksyttäminen Joutsenmerkin alle toimii. Jos tarkasteltavaksi tulisi uusi biomateriaali se joutuisi saman tarkastelun alle kuin muutkin materiaalit. Bergbomin mukaan biomateriaalin kestävän tuotannon ja alkuperän selvitys olisi hyväksyttämisen prosessin tärkeimpiä vaiheita, koska ”se, että materiaali on peräisin luonnosta, ei ole tae sille, että se on ympäristölle parempi.” Näin varmistetaan, ettei uusi innovaatio vain siirrä ympäristöongelmaa paikasta toiseen suurien lupauksien varjolla, huomautti Bergbom.

Kuva 35. Mogu Kite akustointipaneli on luonnostaan valkoinen, sienirihmastosta valmistettu rakennustuote. (Mogu)



Kun biomateriaalista on valmistettu rakennustuote, esimerkiksi sienirihmastosta valmistettu akustolevy, täytyy rakennustuotteen hyväksyttäminen tehdä kyseiselle tuotteelle. Materiaaleille itsessään ei ole laissa hyväksyntämenettelyä. Kun tuote on testattu harmonisoidun tuotestandardin mukaan onnistuneesti, tuotteen valmistaja voi kiinnittää tuotteeseensa CE-merkinnän. Hyväksynnän jälkeen valmistaja voi hakea Joutsenmerkkiä, missä tuotteen valmistusalkuperä,

turvallisuus ja terveellisyys arvioidaan Joutsenmerkin kriteeristön mukaan. Jos tuotteelle ei ole valmista kriteeristöä, Joutsenmerkkilautakunta arvioi onko tuotekunnan kriteeristölle tarpeeksi kysyntää, että kriteeristön laatiminen on kannattavaa. Bergbom huomauttaa, että kriteeristön laatiminen on pitkä ja kallis prosessi, joten kriteeristön laadintaa ei aloiteta ilman tietoa suuresta ympäristöhyödystä ja käyttäjäjoukosta. Kun tuotteen hyväksyttämistä varten on kriteeristö, hakemuksen tarkastaja arvioi tuotteen ympäristöhyödyt, terveellisuuden ja turvallisuuden niiden pohjalta ja voi myöntää tuotteelle Joutsenmerkin.

Bergbom rohkaisee biomateriaalien käyttöön käyttösovelluksissa, joissa kriteerit eivät ole yhtä vaativia laadun suhteen. Tällöin materiaaalitekniikka pääsee eteenpäin, mutta prosessi tuotteen markkinoille saamisessa on lyhyempi kuin rakenteiden kantavuusominaisuuksiin vaikuttavissa rakennustuotteissa. Esimerkiksi pihakivien valmistus bakteeribetonista antaisi materiaalille jalansijaa markkinoilla ja korvaisi betonin käyttöä maisemasuunnittelussa. Kantavien seinien sijasta sienirihmastorakennetta voidaan hyödyntää jo nyt akustiikkapaneeleissa.

Kuva 36. Mogu Wave paneeli valmistetaan sienirihmastosta. (Mogu)



Se, että rakennustuote täyttää lain määräämät tekniset vaatimukset, ei ole tae siitä, että tuote menestyisi markkinoilla. Vuosikymmeniä fossiiliperäisiä tuotteita valmistaneilla tuotantolaitoksilla on etulyöntiasema uusiin biomateriaalituotteisiin verrattaessa. Valmistusprosessit ovat uusia, joten tuotannon käynnistäminen voi olla hidasta ja haastavaa. Tehokas tuotanto on yksi hintaa laskeva muuttuja kaupallisen arvon muodostavassa yhtälössä, joten biomateriaalien voi olla vaikeaa pärjätä fossiiliperäisten materiaalien rinnalla hintavetoisilla markkinoilla.

Teknisten vaatimuksien täytyminen ja vaaditut sekä vapaaehtoiset hyväksyttämisprosessit vauhdittavat rakennuslupaprosesseja, jotta vältetään tilanteilta, jolloin rakennushankkeeseen ryhtyvä joutuu selvittämään rakennustuotteen teknisen kelpoisuuden. Uuden rakennustuotteen yleistyminen vaatii sitä, että tuotteen käyttö rakennuskohteessa on yksinkertainen prosessi.

Seuraavassa luvussa käsitellään ympäristömerkintää ratkaisuna ympäristöystävällisten materiaalien yleistymiselle markkinoilla. Rakentamisen asennemuutos, missä pelkkä standardien täytyminen ei enää riitä, vaan vaaditaan kemikaalittomia ja alkuperältään ympäristön kannalta kestäviä tuotteita voi olla ilmiö, jonka biomateriaalit tarvitsevat saavuttaakseen kilpailukyvyn. Joutsenmerkki on yksi tällainen asenteita muokkaava taho.



2.4.5 Ympäristömerkkien vaikutus rakentamisessa - Joutsenmerkki

Kuva 37. Ensimmäinen Joutsenmerkin ansainnut omistusasumisen asuinkerrostalo Pasilassa valmistui keväällä 2020 (JM Suomi Oy)

Lähdin tutkimaan joutsenmerkin vaikutusta rakennusprosessiin, koska ympäristömerkinnät ovat ajankohtainen tapa osoittaa ympäristöystävällisemmän rakentamisen pyrkimykset konkreettisesti. Joutsenmerkki on alkanut yleistyä pohjoismaalaisessa rakentamisessa ja pientaloja, päiväkoteja, kouluja ja asuinkerrostaloja on alkanut valmistua viime vuosina myös Suomessa (Ympäristömerkintä Suomi Oy). Ympäristömerkinnät parantavat rakentamisen hiilijalanjälkeä ja kiihdyttävät hiilineutraalisyurkimyksien saavuttamista. Ympäristömerkinnät voivat olla työkalu, jonka kautta biomateriaalit saavat jalansijaa rakennuskulttuurissa.

Joutsenmerkki on Ympäristömerkintä Suomi Oy:n hallinnoima pohjoismaalainen ympäristömerkki. Ympäristömerkintä Suomi Oy on Motiva Oy:n tytäryhtiö, jonka asiantuntijat laativat pohjoismaisen Joutsenmerkki organisaation kanssa Joutsenmerkin kriteerit, valvovat merkin luvanhaltijoita ja käsittelevät merkin käyttölupahakemuksia. Ympäristömerkkityötä ohjaa työ- ja elinkeinoministeriö ja ympäristöministeriön koolle kutsuma ympäristömerkintälautakunta. Lautakunnan ohjaamien ympäristömerkkien tavoitteena on edistää kestävästä kehitystä, joten kriteerejä tiukennetaan 3–5 vuoden välein uuden ympäristötiedon, tekniikan kehityksen ja markkinatilanteen mukaan. Kriteerien tiukent-

essa, luvanhaltijat joutuvat hakemaan merkkiä uudelleen. Kaikki joutsenmerkillä varustetut tuotteet ja palvelut ovat siis vastuullisia ajankohtaisten ympäristökriteerien mukaan. Joutsenmerkin hakeminen on vapaaehtoista, joten hakukriteerit voidaan asettaa lakeja ja asetuksia tiukemmiksi ja nopeammalla aikataululla. (Ympäristömerkintä Suomi Oy)

Kuva 38. Joutsenmerkki (Ympäristömerkintä Suomi Oy)



Tutkimuksessani keskityin tehokkaaseen asuinrakentamiseen Joutsenmerkki-rakentamisessa. Haastattelin rakennusliikkeen ja arkkitehtitoimiston edustajia kahdesta eri Joutsenmerkki-kerrostalokohteesta, Asunto Oy Höyhensaari Helsingin Pasilassa ja VAV Asunnot Oy:n kohde Kaskelantie 1 Vantaan Hakunilassa. Keskustelimme Joutsenmerkki-rakentamisen prosessista ja koetusta kokemuksesta. Sen lisäksi haastattelin Joutsenmerkin kriteeripääällikköä Karin Bergbomia rakennusmateriaaleja koskevista kriteereistä.

Joutsenmerkki on hyvä esimerkki ympäristömerkeillä kontrolloitavasta ympäristövaikutamisesta. Joutsenmerkki on kaikille kuluttajille tuttu ja luotettava organisaatio, jonka tunustamia tuotteita uskalletaan hyvillä mielin ostaa. Ympäristömerkintä tekee ympäristön kannalta oikeat valinnat helpoiksi ja mahdollisiksi (Ympäristömerkintä Suomi Oy). Biomateriaalien käyttöönottoa voisi vauhdittaa niiden suosiminen joutsenmerkin ja EU-ympäristömerkin kriteereissä. Joutsenmerkin kaltaisen vahvan kuluttajasuosion ansaitseman brändin tuki voisi nostaa uudet materiaalit yleistyviksi käyttömateriaaleiksi. Joutsenmerkin kriteeripääällikkö Karin Bergbom huomauttaa, että vaikka rakenteilla oleva rakennus ei pyrkisikään Joutsenmerkkiin, alalla katsotaan Joutsenmerkin kriteeristöstä mallia. Jos jokin materiaali saa kriteeristössä tunnustusta, sen luotetaan olevan ympäristön kannalta tavanomaista parempi vaihtoehto.

Joutsenmerkin rakentamisen kriteerit on laadittu elinkaarinäkökulmasta, joten ne kohdistuvat erityisesti rakennuksen käytönaikaiseen energiatarpeeseen, käytettyihin rakennus-

Kuva 39. VAV Asunnot Oy:n Kaskelantie 1 valmistui vuonna 2018. NCC:n toteuttama kohde oli ensimmäinen tehokkaan asumisen asuinkerrostalo, joka sai Joutsenmerkin Suomessa. (Green Building Council Finland)



materiaaleihin ja työmaakäytäntöihin sekä rakentamisen laadunvalvontaan. Joutsenmerkityissä rakennuksissa kiinnitetään erityisen paljon huomiota sisätilojen ja sisäilman laatuun ilmanvaihdon, materiaalien ja rakentamisen laadun valvonnalla. Vaikutuksia ulkoiseen ympäristöön minimoidaan käyttämällä myrkyttömiä aineita ja materiaaleja sekä rakennusjätteiden tehokkaalla kierrätyksellä. Asuminen rakennuksessa täytyy olla mahdollista vähäisellä energiankulutuksella ja uusiutuvan energian käyttöä kannustetaan Joutsenmerkkihakemuksen pisteytyksessä. Joutsenmerkin saaminen vaatii listattujen rakentamisen kriteerien täyttymistä ja sen lisäksi kerätään tietty määrä vapaavalintaisia lisäpisteitä. Joutsenmerkki on vakuutus siitä, että rakennuksen ympäristövaikutus on vähäinen sen elinkaaren aikana. (Ympäristömerkintä Suomi Oy)

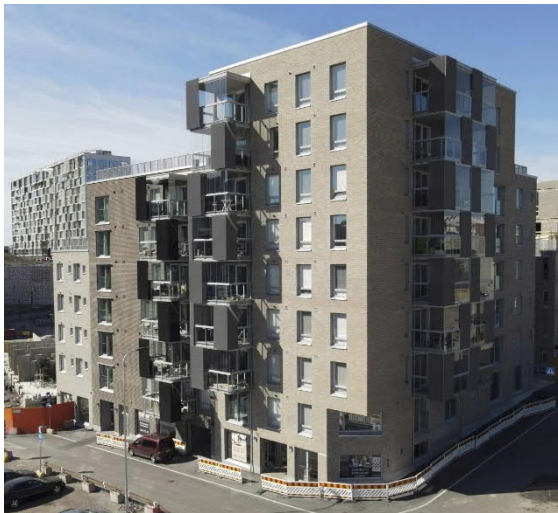
JM Suomi Oy:n projektipäällikkö Tero Ramstedt kertoi Joutsenmerkin hakemisen vastuusta. Kriteerien täyttymisen vastuu on rakennusliikkeellä, jonka sisällä projektipäällikkö vastaa siitä, että rakennus saa Joutsenmerkin ja rakennus valmistuu Joutsenmerkin kriteerien mukaisesti. JM Suomi Oy on saanut vuonna 2018 Joutsenmerkin peruslisenssin ensimmäisenä Suomen rakennuslalla. Peruslisenssin lisäksi Joutsenmerkkihakemus tehdään projektikohtaisesti Ympäristömerkintä Suomi Oy:lle.

Keskusteluissa kävi ilmi, että molemmissa kohteissa oli paljon samoja haasteita ja onnistumisia. Molempien rakennusliikkeiden kohdalla kyseessä oli ensimmäinen suuren mittakaavan Joutsenmerkki-kerrostalo, joten uudenlaiseen rakentamisen prosessiin oli sopeutumista, mutta uusi rutiini syntyi nopeasti. Arkkitehtien kanssa kävi ilmi, että Joutsenmerkkikohteen suunnittelu on ehkä jopa suoraviivaisempaa kuin tavanomaisen kohteen kanssa, koska vaihtoehtoja on materiaalivalinnoissa vähemmän. Rakennusliikkeen oman tuotannon ollessa kyseessä, rakennusliike tekee etukäteen suurimman osan valinnoista. Höyhensaarta suunnitellut arkkitehti Antti Jyränki kuitenkin huomauttaa, että jos materiaalivalintojen vastuu on arkkitehtitoimistolla, suunnitteluun voi aiheutua lisätyötä. Työtaakan määrä riippuu sopimuksesta ja siitä miten pitkä pohjatyö ja kokemus Joutsenmerkkikohteen suunnittelun taustalla on.

Haastatteluissa ilmeni, että Joutsenmerkki-rakentamisen hyviä puolia ovat sen konkreettisuus, selkeät tavoitteet ja kriteeristöt. Rakennusliikkeiden työtä helpottaa Joutsenmerkin hakukriteerien selkeät ohjeet ja listaukset, joita noudattamalla hyvästä työstä saa palkinnoksi näkyvän tunnustuksen, jonka tunnus on kansan suosiossa. Rakennusliikkeiden edustajat Ramstedt ja Kanervo huomauttivat myös, että vaikka Joutsenmerkin hakuprosessi on ensimmäisellä kerralla työläs ja vaatii enemmän resursseja, kun se on kerran käynyt läpi, on se helpompaa toistaa seuraavissa kohteissa.

Joutsenmerkkirakentamisen haasteet olivat kohteissa samankaltaisia. Projektit vaativat enemmän pohjatyötä, koska työtapo oli erilainen. Joutsenmerkki vaatii tarkkaa dokumentointia materiaalilistauksista työmaatoimintatapoihin. Kaskelantien kohteen työpäällikön Tero Kanervon mukaan Joutsenmerkin kaltaisessa tiukasti valvotussa prosessissa dokumentointiin tarvitaan työtehtävästä vastaava henkilö. Työmaalla valvontaa vaaditaan enemmän työmaajätteiden kierrätykseen ja dokumentointiin.

Kuva 40. As. Oy Höyhensaari on ensimmäinen omistusasumisen Joutsenmerkkikohte. JM Suomi Oy:n rakentama asuinkerrostalo valmistui Pasilaan vuonna 2020 (JM Suomi Oy)



Joutsenmerkittyjen rakennusmateriaalien puute aiheutti aluksi haasteita molemmissa hankkeissa. Joutsenmerkkikohteissa saadaan käyttää vain Joutsenmerkittyjä tuotteita tai Joutsenmerkin hyväksymiä tuotteita. Jos kaivattua tuoteryhmää ei löydy valmiiksi Joutsenmerkin listoista, pitää rakennusmateriaalin dokumentointi hyväksyttää erikseen. Materiaalien hyväksyttäminen vei aikaa, ja siitä muodostui osa

hankkeen arkirutiinia, Kanervo kertoo. Nykyään Joutsenmerkin hyväksymiä ja Joutsenmerkittyjä rakennusmateriaaleja on enemmän tarjolla, ja ne lisääntyvät sitä mukaan, kun niille on kysyntää, mutta hankkeiden aikaan tuotteita täytyi usein pyytää erikseen.

Vaikka tiukat materiaalikriteerit aiheuttivat lisätyötä, jokainen haastateltava vastasi myöntävästi, kun kysyin: ”Tehtiinkö Joutsenmerkin takia tavanomaista parempia materiaalivalintoja?”. Erityisesti materiaalien terveellisyyttä ja kemikaalittomuutta arvostettiin. Höyhensaaren projektipäällikkö Tero Ramstedt huomautti, että materiaalihallinnan lisääntyminen rakennusalaalla on muutosta oikeaan suuntaan. Arkkitehti Jyränki korosti Joutsenmerkin positiivisia vaikutuksia energiatehokkuuteen: ”Höyhensaaren energialuokka voisi olla normaalirakentamisessa matalampi, mutta nyt se on A-luokkaa, joten tietyllä tapaa Joutsenmerkki tuottaa ratkaisuja, jotka ovat viranomaismääräyksiä korkealaatuisempia.”

Kun kysyin Joutsenmerkkirakentamisen kokemuksesta ja siitä suosittelisivatko rakennusalan ammattilaiset Joutsenmerkki-rakentamista muille, vastaukset olivat yksimielisen positiivisia. Kaskelantien työpäällikkö Kanervo toivoi jo seuraavia haasteita: ”Kyllähän sitä mielellään jo lähtisi seuraavalle tasolle. Tämä on jo aika helposti saavutettavissa ja kohtuukustannuksin ja osa investointikustannuksista, ellei kaikki, on sellaisia, että ne tulevat elinkaareissa takaisin.” Arkkitehti Viljamaa kuitenkin huomautti, ”että he, jotka teke-

vät ensimmäistä kertaa, joutuvat käyttämään enemmän aikaa ja tutustumaan siihen systeemiin ja se vaatii vähän panostusta ja tutkimista. Siellähän on hirveän paljon eri tapoja saavuttaa ainakin se vaadittu pistemäärä.”

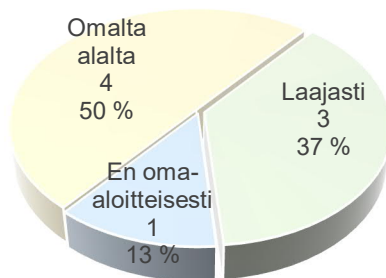
Kysyin jokaiselta Joutsenmerkkihaastateltavalta: ”tarvitaanko ympäristömerkkien kaltaisia kolmansia tahoja, jotta voidaan suunnitella ympäristöystävällisiä rakennuksia.” Useimmat toivoivat, että ympäristömerkinnät ovat välivaihe, joka kiihdyttää rakentamista oikeaan suuntaan, mutta jää tarpeettomaksi, kun lainsäädäntö ja rakentamisen laatu saavuttaa tietyn tason. Joutsenmerkin kriteeripäälikkö Bergbom kuitenkin huomauttaa, että Joutsenmerkki suojelee valheellisilta ympäristölupauksilta ja pysyy siksi pitkään relevanttina. Kanervo spekuloi, että pysyvään muutokseen tarvitaan vahvaa viranomaisten ja lainsäädännön linjausta, jotta rahalliseen tuottoon tähtäävä rakennusala tekisi ympäristön kannalta oikeita valintoja. Kaskelantien arkkitehti Viljamaa taas kommentoi, että rakennuslalla uudetkin innovaatiot voivat menestyä, jos huomataan, että niistä ollaan valmiita maksamaan. Rakennusalan ammattilaisilla oli kuitenkin huomattavan talousvetoinen ajatusmalli materiaalien menestyksen arvioinnissa.

Uudet innovaatiot materiaalimaailmassa ovat usein alkutaipaleellaan hintavia, joten ympäristömerkin kaltainen kannustin voi olla tapa vakiinnuttaa niiden asema markkinoilla. Biologian istuttaminen rakennuskulttuuriin tulee todennäköisesti yleistymään yhteiskunnan pyrkiessä vastaamaan jatkuvasti kiristyviin ympäristökriteereihin. Lait ja määräykset asettavat tiukkoja kriteerejä materiaalien alkuperälle, valmistuksen hiilipäästöille ja kierätettävyydelle, joihin fossiiliset materiaalit eivät pysty lopulta enää vastaamaan, jolloin biomateriaalit paikkaavat niiden jättämän aukon rakennuskannassa. Lainsäädäntö liikkuu hitaasti, joten vapaaehtoisuuteen perustuvat kolmannet tahot, kuten Joutsenmerkki, ovat tärkeitä suunnannäyttäjiä kiihdyttämään kehitystä kestävämpään suuntaan.

2.4.6 Suhtautuminen biomateriaaleihin

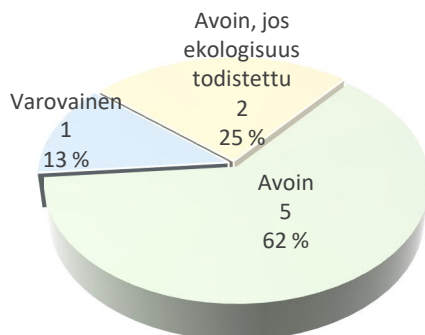
Kartoitin haastatteluissa asiantuntijoiden suhtautumista tulevaisuuden biomateriaaleihin. Pyysin heitä myös arvioimaan, miten yhteiskunta vastaanottaisi uusia ja ympäristöystävällisempiä materiaaleja. Haastatteluissa pohdittiin myös, millaisia ongelmia biomateriaalien yleistymisessä voidaan kohdata.

Seuraatko uusia innovaatioita?



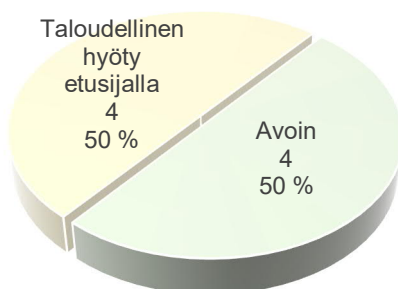
Koska yksi diplomityöni tehtävistä on levittää tietoa biomateriaaleista, halusin selvittää, miten eri alojen ammattilaiset seuraavat uusia innovaatioita. Kysyin asiantuntijoilta seuraavatko he uusia innovaatioita ja materiaalikehitystä säännöllisesti. Rakennus-alalla seurattiin lähinnä oman alan tiedotuskanavia rakennustekniikan kehityksestä. Kaaviosta huomataan, että lähes kaikki ovat kiinnostuneita uusista innovaatioista, mutta oman alan julkaisuja seurataan eniten.

Suhtautuminen biomateriaaleihin henkilökohtaisesti



Haastateltavien asenne uusia biomateriaaleja kohtaan oli avoin. Biomateriaaleihin perehtyneet asiantuntijat kuitenkin huomauttivat, että biomateriaalin alkuperä täytyy tarkistaa, jotta voidaan olla varmoja, että tuote on todellisuudessa ekologinen. Arkkitehti Viljamaa kertoi suhtautuvansa biomateriaaleihin varovaisesti. Kokemukset suomalaisesta rakennuslainsäädännöstä tekee asenteesta uusia innovaatioita kohtaan varautuneen, koska esimerkiksi vanhojen materiaalien uusiokäyttö uudiskoh-teissa on viranomais määräysten takia haasteellista ja usein mahdotonta.

Yhteiskunnan suhtautuminen biomateriaaleihin



Kysyessäni, miten haastateltavat arvioivat yhteiskunnan vastaanottavan biomateriaalit, positiivisen vastaanoton lisäksi vastauksissa pohdittiin mahdollisia haasteita, joita biomateriaalit yleistymisessä voivat kohdata. Rakennusalan ammattilaiset pohtivat uusien tuotteiden yleistymisen mahdollisuutta

talouden kannalta. NCC:n työpäällikkö Kanervo arvioi, että jos uudet materiaalit ovat betonia kalliimpia, niiden yleistyminen vaatii valtion tukea ja lakimuutoksia. Rakennusallalla tulee miettiä myös rakennustuotteen laatua ja kestävyyttä. JM Suomi Oy:n projektipäällikkö Ramstedt mainitsi, että maailmalla tehdyt materiaali-innovaatiot eivät välttämättä toimi Suomen sääolosuhteissa. Hänen mukaansa rakennusallalla on huonoja kokemuksia epäonnistuneista materiaalikokeiluista, huonon säänkeston tai myrkyllisten aineiden, kuten asbestin takia.

Kanervo huomautti, että rakennusallalla työskennellään mieluiten materiaalien kanssa, joista on vuosikymmenien kokemus. Huono materiaalivalinta aiheuttaa rakennusliikelle isoja lisäkustannuksia, jos virhe tulee ilmi kohteen takuuaikana. Sen takia suositetaan materiaaleja, joiden kestävydestä on dataa vähintään vuosikymmenen ajalta. Tämän takia hyväksytty biomateriaalista valmistettu lopputuote ei välttämättä pääse käyttöön rakentamisessa vielä vuosia sertifioinninkaan jälkeen. Materiaalien laatua ja kestävyyttä tulee siis tutkia laajasti eri käyttötarkoituksissa. Materiaalien käyttö voitaisiin aloittaa ensin lyhyen elinkaaren tuotteissa, kuten kertakäyttötuotteissa ja sen jälkeen edetä pidempikestoisiin, kuten sisustukseen ja pintamateriaaleihin. Kokemuksen karttuessa luottamus materiaaleihin lisääntyy ja käyttösovellukset voisivat laajentua rakentamisen kiinteisiin ja kantaviin elementteihin. Lopulta materiaalit korvaavat fossiiliperäiset rakennustuotteet kokonaan. Bergbom myös huomautti, että rakennusmateriaalisovellukset voitaisiin aloittaa alhaisten kriteerien tuotteista ja tuoteryhmistä, joissa laatuvaatimukset eivät ole kovin korkealla.

Joutsenmerkin kriteeripäällikkö Bergbom halusi tuoda ilmi ongelman, joka biomateriaaleista puhuttaessa usein esiintyy. Bio-etuliite ei itsessään takaa, että tuote on ekologinen ja luonnon kannalta tavanomaista parempi vaihtoehto. Etuliite on usein viherpesuna tunnetun markkinoinnin myyntikikka, jonka käyttöä tulisi Bergbomin mielestä valvoa tarkemmin. Tällä hetkellä valvonta ja taustojen selvitys jää usein kuluttajan omalle vastuulle. Joutsenmerkin kaltaisen sertifioinnit pitävät huolta siitä, että ekologisuuslupausten taustalla on pitäviä tutkimustuloksia, mutta sanan biomateriaali maine voi kärsiä, jos markkinoille pääsee materiaaleja, jotka lupaavat suuria, mutta todellisuudessa siirtävät ympäristöongelmia fossiilisista hiilipäästöistä muihin ympäristöongelmiin.

3. YHTEENVETO

Tässä diplomityössä on tutkittu biomateriaalien mahdollisuuksia rakennusalalla sekä tutkittu asiantuntijahaastattelututkimuksen avulla biomateriaalien matkaa laboratorioista rakennuskantaan. Yhdessä ne muodostavat kokonaisuuden biomateriaalien istuttamisesta rakennuskulttuuriin.

3.1 Biomateriaalien mahdollisuudet rakentamisessa

Tutkimusprosessin aikana löytyi useita käyttötarkoituksia biomateriaaleille. Tulevaisuuden potentiaalit ovat materiaalikehityksen myötä rajattomat, mutta tässä luvussa arvioidaan mihin materiaalit pystyisivät tällä hetkellä tai tulevana vuosikymmenenä. Tarkempi tarkastelu käyttösovelluksien kannalta kohdistui sienirihmastomateriaaleihin, bakteeribetoneihin, selluloosamateriaaleihin ja biokomposiitteihin.

Biomateriaaleissa on jo nykytiedon valossa paljon potentiaalia kevyiden seinien ja seinäpintalevyjen rakennusmateriaalina. Moni luontoperäinen materiaali, kuten sellukuitu ja sienirihmasto absorboivat hyvin ääntä huokoisen tekstuurin takia, joten akustiikkatuotteet ja sisätilojen rakennuslevyt ovat potentiaalisia ja ajankohtaisia käyttösovelluksia. Myös lämmöneristävyys on monia tavanomaisia rakennuslevymateriaaleja parempaa luonnonkuitujen takia.

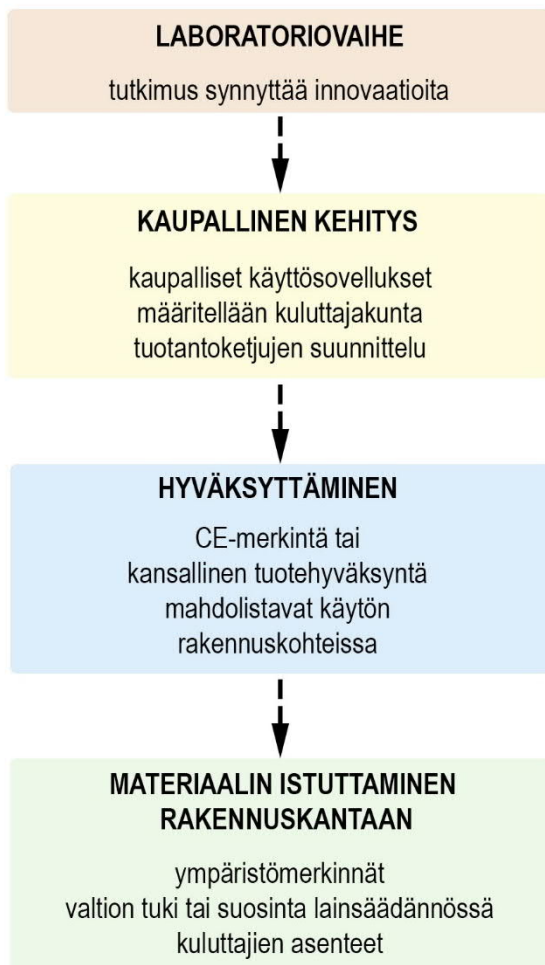
Bakteeribetonien kaltaiset mikrobeilla kovetetut ja kasvatetut materiaalit toimivat erityisen hyvin päällystemateriaalina esimerkiksi alueilla, missä rakennusmateriaalia on rajoitusti ja maasto on kuivaa. Pihakiviä voitaisiin valmistaa jo nyt mikrobeilla valmistetuista materiaaleista. Myös bakteereilla maaperästä kovetetut tiet ja kentät ovat mahdollisia. Valmistukseen vaaditaan huomattavasti alhaisempia lämpötiloja tavanomaisiin päällystysmateriaaleihin verrattuna, joten hiilipäästöt ovat pienempiä.

Biokomposiittimateriaaleilla on useita sovellusmahdollisuuksia rakentamisen pintamateriaaleina. Biokomposiittituotteita esiintyy jo nyt esimerkiksi terassilautoina. Biokomposiitit ja biopolymeerit voisivat korvata fossiiliperäisten muovien käyttösovellukset rakentamisessa. Biokomposiittien käyttösovelluksien valmistus on myös toteutettavissa vapaan muodonannon mahdollistavalla 3D-tulostimella.

Biomateriaalien kaupallisten käyttösovelluksien markkinoille tuominen kannattaa aloittaa tuotteista, joilta ei vaadita pitkää käyttöikää tai suurta kantokykyä. Biomateriaalien kantavuuskykyä ei ole tutkittu tarpeeksi, jotta voitaisiin analysoida niiden potentiaalia kokonaisten rakennuksien rakennusmateriaaleina tai kantokykyisinä elementteinä, mutta potentiaalisia materiaaleja voitaisiin tuoda jo markkinoille matalamman kynnyksen käyttösovelluksissa. Tämä antaisi lisää aikaa suuremman mittakaavan tuotteiden kehitystyölle, mutta materiaali tulisi tutuksi markkinoilla ja keräisi asiakaskunnan luottamusta ja käyttökokemuksia. Rakennusalaalla käytettävistä tuotteista tarvitaan usein vähintään vuosikymmenen kokemus ennen kuin rakennusliikkeet omaksuvat ne käyttöönsä, joten alhaisen kynnyksen tuotteiden käyttöönotto on tärkeä välivaihe materiaalien yleistymiselle.

3.2 Matka laboratorioista rakennuskantaan

Teemahaastattelututkimus tutki biomateriaalien matkaa laboratoriosta rakennuskantaan. Alla on listattuna vaiheet, jotka biomateriaalin täytyy kulkea laboratoriosta suunnittelupöydälle ja toteutettuun kohteeseen.



1. Laboratoriovaihe

Uusien materiaalien kehitystyö tapahtuu laboratorioissa. Luonnontieteiden- ja tekniikanalan ammattilaisten tutkimukset synnyttävät uusia innovaatioita, jotka voivat ratkaista materiaalivalmistuksen ympäristöongelmia. Geenimuuntelun ammattilaiset löytävät uusia ratkaisuja materiaaliominaisuuksiin, joita ei luonnossa esiinny. Luonnonkuitujen uudet käyttösovellukset saavat aikaan uusia materiaaliyhdisteitä. Tutkimusten jatkumona tapahtuu tuotekehitystyö monialaisen ammattilaisjoukon avustuksella. Tuotteen koostumuksen, teknisten ominaisuuksien, toiminnallisuuden ja käyttötarkoituksen määrittämiseksi tarvitaan joukko eri alojen osaajia.

2. Kaupallinen kehitys

Kun materiaali on kehitetty ja mahdollisia tuotesovelluksia on testattu prototyyppitasolla, alkaa kaupallinen kehitystyö. Tällöin määritellään tuotteelle kaupallisia käyttösovelluksia ja tuotetta ostava kuluttajakunta. Päätetään, onko tuote ammattilaisten käyttöön vai jokaiselle saavutettavissa sekä onko lopputuloksena myytävä tuote vai materiaalipalvelu. Jotta tuote on kannattavaa viedä hyväksyttämisvaiheen läpi, tulee varmistaa, että tuotteella on tarpeeksi kysyntää ja sen tuottaminen kaupallisesti on mahdollista. Tuotantoketjujen kestävyys ja ympäristöystävällisyys vaativat tarkastelua käyttösovelluksia kaupallistettaessa.

3. Hyväksyttäminen

Rakennustuotteiden hyväksyntää koskeva lainsäädäntö ei käsittele erikseen rakennusmateriaaleja. Lainsäädäntö koskee valmiita rakennustuotteita. Rakennustuotehyväksynnässä varmistetaan, että lopputuote on turvallinen ja terveellinen, ja että se täyttää vaaditut teknisten ominaisuuksien kriteerit. CE-merkintä on osoitus siitä, että tuote täyttää EU:n komission laatimat rakennustuotteita koskevat tekniset standardit ja tuotteelle on myönnetty tekninen hyväksyntä. Tuotteelle, joka ei kuulu CE-merkinnän standardeja vaativaan tuoteryhmään, voidaan hakea kansallista tuotehyväksyntää, mikä on vapaaehtoinen rakennustuotteen teknisen kelpoisuuden osoitus.

4. Materiaalin istuttaminen rakennuskantaan

Biomateriaalien hyödyt ja rakennusalan hiilijalanjäljen pieneneminen eivät toteudu, elleivät ne onnistu korvaamaan fossiiliperäisiä ja saastuttavia materiaaleja. Rakennushankkeeseen ryhtyvän tulee ymmärtää rahallisen hyödyn lisäksi kestävä kehityksen periaatteet investoinneissaan. Biomateriaalien hinta voi olla aluksi fossiiliperäisiä korkeampi, joten niiden suosiminen tarvitsee kannustimia. Ympäristömerkinnät ja niiden suosiminen kuluttajien keskuudessa voivat vauhdittaa muutosta oikeaan suuntaan. Mutta jos kuluttajakunta ei anna omistavalle väestölle tarpeeksi suuria paineita investointeihin ympäristö edellä, yleinen asenteenmuutos ei tapahdu tarpeeksi vauhdikkaasti, jolloin tarvitaan ympäristöystävällisiin valintoihin kannustamiseen valtion tukea ja lainsäädännön tiukentamista. Ympäristömerkkirakentaminen tekee ympäristöystävällisistä valinnoista yksinkertaisempia, kun tarvittavat toimenpiteet ovat laskettavissa ja ohjeistukset niiden täyttämiseen ovat helposti saatavilla. Kuluttajille tutun ja luotettavan brändin läsnäolo rakentamisessa nostaa rakennuksen ympärille positiivista huomiota. Biomateriaalien saaminen ympäristömerkinnän alaisuuteen voisi nostaa niiden kysyntää ja vakiinnuttaa niiden aseman rakennustuotemarkkinoilla.

Tarina biomateriaalituotteen matkasta rakennuskantaan

Materiaalitutkijat ja muotoilijat kehittävät yhteistyöllä biomateriaaleista pienimuotoisia tuotesovelluksia. Kokeilumielessä tehtyjen tuotteiden pohjalta muodostuu kaupallinen tuote, joka käy läpi hyväksyttämisprosessin. Tuotteelle tehdään tuoteryhmän tuotestandardin mukaisen testimenetelmän testit onnistuneesti, ja tuote saa luvan käyttää CE-merkintää.

Koska biomateriaalituotanto on niin uutta, ei aluksi ole olemassa tuotantolaitoksia, jotka tuottaisivat suuria määriä uutta biomateriaalituotetta. Tämän vuoksi tuote on fossiiliperäistä kilpailijaansa kalliimpi. Tuotteen käyttö herättää positiivista huomiota mediassa ja yleistyy julkisuusarvonsa takia julkisen ja korkean profiilin hankkeissa. Kuluttajasuosiota saavuttavat ympäristömerkinnät kannustavat biomateriaalituotteen käyttöön ja tätä kautta sen kysyntä kasvaa. Materiaalin ilmastovaikutukset aletaan tiedostaa myös hallinnon keskuudessa ja tuotteen käytölle asetetaan kannustimia ja lainsäädäntö asetetaan biomateriaaleja suosivaksi. Kannustimet lisäävät tuotteen käyttöä myös massatuotannossa, mikä johtaa yhä suurempiin tuotantolaitoksiin ja massatuotannon mahdollistamaan hinnanlaskuun. Hinnan alenemisen myötä tuotteet vakiinnuttavat asemansa tehokkaassa rakentamisessa ja rakentamisen hiilijalanjälki laskee pysyvästi.

3.3 Miten jatketaan?

Biomateriaalien mahdollisuuksista rakennuskannassa on vielä paljon tutkittavaa. Tämä diplomityö on vasta alkua ennen kuin biomateriaalien asema voi juurtua rakennuskulttuuriin.

Diplomityötä suunnitellessani ajatuksenani oli suunnitella tutkimusten pohjalta prototyypisuunnitelma. Diplomityössä käsiteltiin myös rakentamisen omavaraisuutta ja kiertotaloutta sekä rakennuksien mahdollisia tulevaisuuden energiamuotoja, koska alkuperäisenä tarkoituksena oli muodostaa hiilinegatiivisen rakennuksen konsepti, jossa rakennus tuottaa omavaraisen energiansa, hyödyntää omat jätteensä ja adaptoituu asukkaiden tarpeisiin. Diplomityö kuitenkin kasvoi työmäärältään suureksi pelkällä teoria- ja haastattelututkimuksella, joten päätin jättää prototyypisuunnittelun tulevalle tutkimustyölle. Vaikka työ lopulta rajautuikin käsittelemään biomateriaalien istuttamista rakennuskulttuuriin, halusin silti jättää biologian energiainnovaatioita työhöni. Tiedon levitys oli kuitenkin alkuperäinen työn tavoite.

Arkkitehtuurin prototyyppejä on tehty huomattavan vähän biomateriaaleilla. Jos avautuisi mahdollisuus syvemmälle tutkimukselle aiheeseen toivoisin, että toteutuisi monialainen

hanke, jossa suunniteltaisiin arkkitehtuurin prototyyppi biomateriaaleilla. Hanke vaatisi osallisuutta materiaalikehityksestä biotekniikan alalta, rakennusteknistä osaamista ja arkkitehtuurin suunnitteluosaamista.

Jos voisin jatkaa tutkimusta, tulevien tutkimusten tavoitteena olisi suunnitella rakennustuote, joka kävisi biomateriaalien istuttamisen tiekartan vaiheet läpi. Kehitetyllä tuotteella kuljettaisiin diplomityön viitoittama matka laboratoriosta rakennuskantaan. Lainsäädäntö ei hyväksytä erikseen uusia materiaaleja, joten tutkimuksessa käsiteltäisiin materiaalista kehitettyä lopputuotetta. Tuoteprototyyppi ei olisi ainoastaan biomateriaalien käyttöä havainnollistava tutkimusprojekti, vaan myös biorakennustuotteen hyväksyttämistä havainnollistava tulevaisuuden referenssi. Kun yksi biomateriaaleista valmistettu rakennustuote on päässyt onnistuneesti lakihyväksynnän seulan läpi, se avaa mahdollisuudet tulevillekin innovatiivisille tuotteille.

Biologian siemen rakennuskulttuurissa on istutettu. Maanpinnan alla piilossa tapahtuva tutkimustyö kasvattaa juuret, joiden voimalla bioarkkitehtuuri kasvaa näkyväksi osaksi rakennuskantaa.

LÄHTEET

Kuvat

| | |
|---|----|
| Kuva 1. Saatavilla (21.10.2020): https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/93/Peacock_feathers_closeup.jpg | 5 |
| Kuva 2. Properla, saatavilla (12.10.2020): https://www.properla.co.uk/lotus-effect/ | 6 |
| Kuva 3. Diemut Strebe, saatavilla (12.10.2020): https://news.mit.edu/2019/blackest-black-material-cnt-0913 | 6 |
| Kuva 4. William Thielicke, saatavilla (24.9.2020): https://asknature.org/strategy/surface-allows-self-cleaning/#jp-carousel-7494 | 7 |
| Kuva 5. Sharklet, saatavilla (24.9.2020): http://www.sharklet.com/our-technology/what-is-biomimicry/ | 7 |
| Kuva 6. kuvankaappaus videosta, Nocera, MIT News, saatavilla (15.5.2020): http://news.mit.edu/2011/artificial-leaf-0930 . 8 | 8 |
| Kuva 7. Eeva Suorlahti, saatavilla (13.10.2020): https://cellulosefromfinland.fi/laminated-structures-for-interior-architecture/ | 10 |
| Kuva 8. Colorado Boulderin yliopisto, saatavilla (5.8.2020): https://www.sciencefriday.com/articles/living-concrete-buildings/ | 11 |
| Kuva 9. Colorado Boulderin yliopisto, saatavilla (5.8.2020): https://www.sciencefriday.com/articles/living-concrete-buildings/ | 12 |
| Kuva 10. Delft University, saatavilla (30.4.2020): https://www.certifiedenergy.com.au/emerging-materials/the-concrete-of-the-future | 13 |
| Kuva 11. James O'Rourke, saatavilla (25.9.2020): https://www.af.mil/News/Article-Display/Article/1866834/future-deployers-dont-forget-to-feed-the-runway/ | 14 |
| Kuva 12. ESA copernikus sentinel data / SYKE, saatavilla (30.4.2020): https://www.is.fi/kotimaa/art-2000005761925.html | 16 |
| Kuva 13. Stanford-Brown-RISD iGEM Team 2018, saatavilla (13.10.2020): https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/t-stanford-brown-risd-results_brick.png | 18 |
| Kuva 14. Walter de Gruyter, Imhof & Gruber, 2017, s. 116 | 19 |
| Kuva 15. Mogu, saatavilla (13.10.2020): https://mogu.bio/acoustic/ | 21 |
| Kuva 16. UPM pulp, saatavilla (13.10.2020): https://www.upmpulp.com/fi/media/blogit-ja-tari-nat/stories/selluinnovaatioilla-kohti-kestavampaa-tulevaisuutta/ | 23 |
| Kuva 17. Eeva Suorlahti, saatavilla (13.10.2020): https://cellulosefromfinland.fi/strong-nanocellulosic-tubular-structures/ | 24 |
| Kuva 18. kuvankaappaus videosta, The Mediated Matter Group, saatavilla (30.4.2020): https://www.media.mit.edu/projects/aguahoja/overview/ | 25 |
| Kuva 19. The Mediated Matter group, saatavilla (30.4.2020) https://www.media.mit.edu/projects/aguahoja/overview/ | 27 |
| Kuva 20. yksinkertaistus kirjan kaaviosta, Imhof & Gruber, 2017, s. 127 | 30 |
| Kuva 21. Yoram Reshef, saatavilla (30.4.2020): https://www.media.mit.edu/projects/wanderers/overview/ | 31 |
| Kuva 22. Yoram Reshef, saatavilla (30.4.2020): https://www.media.mit.edu/projects/wanderers/overview/ | 32 |
| Kuva 23. Mediated Matter Group, saatavissa (16.3.2020): https://neri.media.mit.edu/assets/pdf/Grown_Printed_Bio-augmented.pdf | 33 |
| Kuva 24. Aivan Oy, saatavilla (12.8.2020): https://www.aivan.fi/portfolio/korvaa-headset-made-by-microbes/ | 40 |
| Kuva 25. Aivan Oy, saatavilla (12.8.2020): https://www.aivan.fi/portfolio/korvaa-headset-made-by-microbes/ | 41 |
| Kuva 26. Korvaa, saatavilla (12.8.2020): https://www.korvaa.com/ | 42 |
| Kuva 27. Korvaa, saatavilla (12.8.2020): https://www.korvaa.com/ | 42 |
| Kuva 28. Eeva Suorlahti, saatavilla (13.10.2020): https://cellulosefromfinland.fi/strong-nanocellulosic-tubular-structures/ | 45 |
| Kuva 29. Eeva Suorlahti, saatavilla (13.10.2020): https://cellulosefromfinland.fi/strong-nanocellulosic-tubular-structures/ | 46 |
| Kuva 30. Eeva Suorlahti, saatavilla (13.10.2020): https://cellulosefromfinland.fi/foam-molding/ | 46 |
| Kuva 31. UPM, saatavilla (12.8.2020): https://www.upm.com/fi/tietoa-meista/tama-on-biofore/bioforecase/sellukuitua-3d-tulostukseen/ | 48 |
| Kuva 32. UPM, saatavilla (12.8.2020): https://www.upmformi.com/biocomposite-products/materials/ | 49 |
| Kuva 33. UPM, saatavilla (12.8.2020): https://www.upmformi.com/biocomposite-products/3d-printing/references/ | 49 |
| Kuva 34. Mogu, saatavilla (14.10.2020): https://mogu.bio/acoustic/mogu-kite/ | 51 |
| Kuva 35. Mogu, saatavilla (14.10.2020): https://mogu.bio/acoustic/mogu-kite/ | 53 |
| Kuva 36. Mogu, saatavilla (14.10.2020): https://mogu.bio/acoustic/mogu-wave/ | 54 |
| Kuva 37. JM Suomi Oy, saatavilla (14.10.2020): https://www.jmoy.fi/asunnot/helsinki/pasila/asunto-oy-helsingin-hoyhensaari/ | 55 |
| Kuva 38. Ympäristömerkintä Suomi Oy, saatavilla (14.10.2020): https://joutsenmerkki.fi/tietoa-meista/organisaatio/ | 55 |
| Kuva 39. Green Building Council Finland, saatavilla (14.10.2020): https://figbc.fi/referenssi/_trashed-5/ | 56 |
| Kuva 40. JM Suomi Oy, saatavilla (14.10.2020): https://www.jmoy.fi/asunnot/helsinki/pasila/asunto-oy-helsingin-hoyhensaari/ | 58 |

Teokset

- Lalli, M. & Reuter, L., 2016, Biosanasto, Biotekniikan neuvottelukunta, Helsinki, saatavilla (6.10.2020): <https://docplayer.fi/23035265-Julkaisun-on-toimittanut-biotekniikan-neuvottelukunta-btnk-kirjoittajat-marianne-lalli-lauri-reuter.html>
- Clements-Croome, D., 2013, Intelligent Buildings - Design, Management and Operation, 2. painos, ICE Publishing.
- EU direktiivi 2010/31/EU, Annettu 19. toukokuuta 2010, saatavilla (14.10.2020): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=RO>
- Euroopan komissio, 28.11.2018, Puhdas maapallo kaikille: Eurooppalainen visio kukoistavasta, nykyaikaisesta, kilpailukykyisestä ja ilmastoneutraalista taloudesta, Bryssel, COM(2018) 773 final, saatavilla (11.5.2020): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0773&from=FI>
- Imhof, B. & Gruber, P. 2016, Built to grow. Blending architecture and biology, Birkhäuser, Basel, Switzerland.
- Kangas, H., 2014, Opas selluloosananomateriaaleihin, VTT Technology 199, saatavilla (5.10.2020): <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2014/T199.pdf>
- Kretzer, M. 2017, Information Materials Smart Materials for Adaptive Architecture, Springer International Publishing, Cham.
- Laki eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä 954/2012, Annettu Helsingissä 21. joulukuuta 2012, saatavilla (1.10.2020): <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2012/20120954>
- Oxman, N., 2010, Material-based design computation, Thesis (Ph. D.), Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Architecture. saatavilla (2.3.2020): <http://hdl.handle.net/1721.1/59192>
- Valli, R. & Aaltola, J. 2015, Ikkunoita tutkimusmetodeihin. 1, Metodien valinta ja aineistonkeruu: virikkeitä aloittelevalle tutkijalle, 4. painos, PS-kustannus, Jyväskylä.
- Valli, R. & Aaltola, J. 2015, Ikkunoita tutkimusmetodeihin. 2, Näkökulmia aloittelevalle tutkijalle tutkimuksen teoreettisiin lähtökohtiin ja analyysimenetelmiin, 4. painos, PS-kustannus, Jyväskylä.

Artikkelit

- American Chemical Society, 8.4.2013, ScienceDaily, 'Artificial leaf' gains the ability to self-heal damage and produce energy from dirty water, saatavilla (20.03.2020): www.sciencedaily.com/releases/2013/04/130408185855.htm
- Archinfo Finland, 29.5.2020, Arkkitehtuurin tiedotuskeskus Archinfo, Suomalaiset arkkitehdit liittyvät maailmanlaajuiseen julistukseen ilmaston ja luonnon monimuotoisuuden hätätilasta, saatavilla (7.8.2020): <http://archinfo.fi/2020/05/suomalaiset-arkkitehdit-liittyvat-maailmanlaajuiseen-julistukseen-ilmaston-ja-luonnon-monimuotoisuuden-hatatilasta/>
- Blom, J., 24.9.2020, Yle Uutiset, Mäntylä voisi korvata fossiiliset muovit Suomessa – selluteollisuuden sivutuote taipuu mihin maaöljykin, mutta vastaako tarjonta kysyntää?, saatavilla (29.9.2020): <https://yle.fi/uutiset/3-11557317>
- Bushwick, S., 15.1.2020, Scientific American, Bacteria-Filled Bricks Build Themselves, saatavilla (26.3.2020): <https://www.scientificamerican.com/article/bacteria-filled-bricks-build-themselves/>
- Chandler, D., 30.9.2011, MIT News Office, 'Artificial leaf' makes fuel from sunlight, saatavilla (19.3.2020): <http://news.mit.edu/2011/artificial-leaf-0930>
- Chu, J., 12.9.2019, MIT News Office, "MIT engineers develop "blackest black" material to date", saatavilla (23.9.2020): <https://news.mit.edu/2019/blackest-black-material-cnt-0913>
- Euroopan parlamentti, 4.10.2019, Mitä hiilineutraalius tarkoittaa ja miten se saavutetaan 2050 mennessä?, saatavilla (12.5.2020): <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20190926STO62270/mita-hiilineutraalius-tarkoittaa-ja-miten-se-saavutetaan-2050-mennessa>
- Hahn, J., 24.10.2019, Dezeen, "Spiber creates first commercially available jacket from emulated spider silk for The North Face", saatavilla (14.9.2020): <https://www.dezeen.com/2019/10/24/spiber-moon-parka-spider-silk-the-north-face-japan/>

- Heikkilä, M., 31.8.2012, Tekniikka ja Talous, Vaahtorainaus mullistaa paperinvalmistuksen, saatavilla (9.7.2020): <https://www.teknikkatalous.fi/uutiset/vaahtorainaus-mullistaa-paperinvalmistuksen/da623b6b-9cb6-3889-84fa-129328f90f8b>
- Heikkilä, R., 28.10.2003, Äyriäisistä saatava kitosaani tuo apua moniin ongelmiin, saatavilla (28.9.2020): <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2003/10/28/ayriaisista-saatava-kitosaani-tuo-apua-moniin-ongelmiin>
- Heveran, C., et al, 5.2.2020, Biominalization and Successive Regeneration of Engineered Living Building Materials, 2. osa, 2. painos, s. 481–494, Elsevier Inc., saatavilla (5.8.2020): <https://doi.org/10.1016/j.matt.2019.11.016>
- Iisalo, L., 18.2.2020, UPMPulp, Sellu tulevaisuuden biotekniikassa, saatavilla (5.6.2020): <https://www.upmpulp.com/fi/media/blogit-ja-tarinat/stories/pulps-role-in-the-bio-based-future/>
- Koskela, S., 6.11.2013, Ympäristöhallinto, Elinkaariajattelu, saatavilla (14.10.2020): https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Resurssitehokkuus/Elinkaariajattelu
- Krabbe, K., 26.9.2017, Paperi ja Puu, Vaahtoteknologiasta on moneksi, saatavilla (9.7.2020): <https://www.paperijapuu.fi/vaahtoteknologiasta-on-moneksi/>
- Lampela, R., 27.8.2019, Tekniikka ja Talous, Muovittomat kuulokkeet valmistuvat sienistä ja hiivoista, saatavilla (28.5.2020): <https://www.teknikkatalous.fi/uutiset/muovittomat-kuulokkeet-valmistuvat-sienista-ja-hiivoista/eaf2d46d-6cb6-4608-a24d-85a1e5e02313>
- Meyers, A., 3.9.2019, Biomimicry Institute, Leaves of the sacred lotus are self-cleaning thanks to hydrophobic microscale bumps, saatavilla (24.9.2020): <https://asknature.org/strategy/surface-allows-self-cleaning/>
- Mikkonen, K., 7.9.2017, Suomen Pakkausyhdistys Ry, Biopohjainen ja biohajoava muovi – eivät tarkoita samaa, saatavilla (4.6.2020): <https://www.pakkaus.com/biopohjainen-ja-biohajoava-muovi-eivat-tarkoita-samaa/>
- Oxman, N., et al., 2016, MIT Media Laboratory, School of Architecture and Planning, Massachusetts Institute of Technology, Grown, Printed, and Biologically Augmented: An Additively Manufactured Microfluidic Wearable, Functionally Templated for Synthetic Microbes, osa 3, nro 2, saatavissa (16.3.2020): https://neri.media.mit.edu/assets/pdf/Grown_Printed_Bio-augmented.pdf
- Ripple, B., 5.6.2019, U.S. Air Force, Future deployers: Don't forget to feed the runway, saatavilla (25.9.2020): <https://www.af.mil/News/Article-Display/Article/1866834/future-deployers-dont-forget-to-feed-the-runway/>
- Sirén, A., 6.2.2020, Yle Uutiset, Ihmiseen voidaan jo tehdä varaosia – 3D-tulostettu sarveiskalvo voi tulevaisuudessa auttaa 10 miljoonaa sokeutunutta ympäri maailman, saatavilla (5.3.2020): <https://yle.fi/uutiset/3-11191475>
- Stewart, A., 7.3.2016, CNN, The 'living concrete' that can heal itself, saatavilla (26.3.2020): <https://edition.cnn.com/2015/05/14/tech/bioconcrete-delft-jonkers/index.html>
- Tavares, F., 14.1.2020, NASA's Ames Research Center, Could Future Homes on the Moon and Mars Be Made of Fungi?, Saatavilla (7.8.2020): <https://www.nasa.gov/feature/ames/myco-architecture>
- Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, 12.06.2019, KORVAA: Kuulokkeet hiivojen ja sienirihmastojen tuottamista biomateriaaleista, saatavilla (29.5.2020): <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/korvaa-kuulokkeet-hiivojen-ja-sienirihmastojen-tuottamista-biomateriaaleista>
- Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, 9.10.2018, Merja Penttilälle yli miljoonan euron rahoitus Wihurin rahastolta synteettiseen biologiaan, viitattu 28.5.2020, saatavilla: <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/merja-penttilalle-yli-miljoonan-euron-rahoitus-wihurin-rahastolta-synteettiseen>
- Toivanen, P., Yle Uutiset, 14.11.2019, SYKE selvitti: Yleinen biopohjainen muovi PLA ei hajonnut vuoden aikana meressä lainkaan, saatavilla (29.5.2020): <https://yle.fi/uutiset/3-11068310>
- Toivonen, J., Yle Uutiset, 6.11.2017, Sementti on isompi ilmastopahis kuin lentokoneet, ja nyt se pitäisi korvata – mutta miten?, saatavilla (27.3.2020): <https://yle.fi/uutiset/3-9901767>
- Törmänen, E., 16.4.2018, Tekniikka&Talous, Metsäjätti kehitti mullistavan vaihtoehdon 3d-tulostukseen – voi työstää puun tapaan hiomalla ja liimaamalla, saatavilla (14.4.2020): <https://www.teknikkatalous.fi/uutiset/metsajatti-kehitti-mullistavan-vaihtoehdon-3d-tulostukseen-voi-tyostaa-puun-tapaan-hiomalla-ja-liimaamalla/9504074c-424e-3a63-86a7-fe1da2dad98f>

- Töyssy, S., 20.4.2018, 3D-tulostuksen asiantuntija Terry Wohlers: Ala ottaa askelia prototyypeistä kohti valmistavaa teollisuutta, saatavilla (17.4.2020): <https://www.upm.com/fi/ajankohtaista/artikkelit/2018/04/3d-tulostuksen-asiantuntija-terry-wohlers-ala-ottaa-askelia-prototyypeista-kohti-valmistavaa-teollisuutta/>
- UPM, 3.4.2019, UPM, ABB ja Prenta kehittävät suuren mittakaavan 3D-tulostusta robotiikan ja biomateriaalin avulla - materiaali 100 % kierrätettävää biokomposiittia, saatavilla (14.4.2020): <https://www.upm.com/fi/tietoa-meista/medialle/tiedotteet/2019/04/upm-abb-ja-prenta-kehittavat-suuren-mittakaavan-3d-tulostusta-robotiikan-ja-biomateriaalin-avulla---materiaali-100-kierratettavaa-biokomposiittia/>
- Varjonen, T., 17.1.2018, Yle Uutiset, Yhdestä sahanpurupussista tulee puoli kiloa sieniä – Robin Libäckin osterivinokkaat menevät kuin kuumille kiville, saatavilla (17.4.2020): <https://yle.fi/uutiset/3-10025167>
- Vatanen, P., 8.1.2017, Yle Uutiset, 3D-tulostimella ei vielä tehdä ihmeitä lääketieteessä – ihmiselinten printtaaminen “varaosiksi” on toistaiseksi mahdotonta, saatavilla (3.4.2020): <https://yle.fi/uutiset/3-9389812>
- Virtanen, S., 9.4.2013, Tekniikka&Talous, Keinotekoinen kasvinlehti korjaa vaurionsa automaattisesti ja tuottaa vetyä vedestä, saatavilla (20.3.2020): <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/keinotekoinen-kasvinlehti-korjaa-vaurionsa-automattisesti-ja-tuottaa-vetya-vedesta/29e093be-92d5-385d-8637-0a2c5cf2c854>
- Vähäkylä, L., 3.5.2018, tietysti.fi, Mahdollisimman tehokkaaseen bioenergiaan, saatavilla (27.3.2020): <https://www.aka.fi/fi/tietysti/teemat/teema-biotalous/mahdollisimman-tehokkaaseen-bioenergiaan/#178c51db>
- Östman, J., 12.4.2019, Yle Uutiset, 3D-biotulostimella valmistetaan jo sarveiskalvoa, ja kohta myös ihoa ja ihmisen varaosia, saatavilla (5.3.2020): <https://yle.fi/uutiset/3-10737002>

Nettisivut

- Biomimicry 3.8, Alumni achievements: chancing the way the world makes color, viitattu 24.9.2020, saatavilla: <https://biomimicry.net/alumni-achievements-changing-way-world-makes-color/>
- Biomimicry Institute, Janine Benyus, viitattu 24.9.2020, saatavilla: <https://biomimicry.org/janine-benyus/>
- Bolt Threads, Meet Mylo, viitattu 14.9.2020, saatavilla: <https://boltthreads.com/technology/mylo/>
- Cellulose From Finland, Design Driven Value Chains in the World of Cellulose, viitattu 9.7.2020, saatavilla: <https://cellulosefromfinland.fi/design-driven-value-chains-in-the-world-of-cellulose/>
- Finnish Architects Declare Climate and Biodiversity Emergency, viitattu 7.8.2020, saatavissa: <https://fi.architectsdeclare.com/>
- Hengitysliitto, Sisäilman kosteus ja lämpötila, viitattu 5.8.2020, saatavilla: https://www.hengitysliitto.fi/en/node/221907?gclid=CjwKCAjwsan5BRAOEiwALzomX6e_rmNSsyK0OGZnS72dqDoYeLy1sZ_mAkih-Mroh0bhWkwcP8Ztm8RoCEZkQAvD_BwE
- Ilmatieteen laitos, Ilmasto-opas, Kasvihuoneilmiö ja ilmakehän koostumus, viitattu 16.10.2020, saatavilla: https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/420c4ca3-a128-4ae7-882e-3d06e1ea24f5/kasvihuoneilmiö-ja-ilmakehan-koostumus.htm#cli_references
- IMA Europe, Calcium Carbonate, viitattu 15.4.2020, saatavilla: <https://www.ima-europe.eu/about-industrial-minerals/industrial-minerals-ima-europe/calcium-carbonate>
- JM Suomi Oy, Joutsenmerkki, viitattu 15.4.2020, saatavilla: <https://www.jmoy.fi/jm-koti/joutsenmerkki/>
- Korvaa, A Science & Design Initiative showcasing the research and development of microbial materials, viitattu 28.5.2020, saatavilla <https://www.korvaa.com/>
- Luontoportti, Sinilevät, viitattu 27.3.2020, saatavilla: <http://www.luontoportti.com/suomi/fi/itameri/sinilevat>
- Maa- ja metsätalousministeriö, Kestävässä kehityksessä turvataan hyvät elinmahdollisuudet myös tuleville sukupolville, viitattu (16.10.2020), saatavilla: <https://mmm.fi/kestava-kehitys1>
- Maa- ja metsätalousministeriö, Kiertotalous on Suomelle mahdollisuus, viitattu 16.10.2020, saatavilla: <https://mmm.fi/kiertotalous>
- Metsäyhdistys, Sellu, selluloosa, viitattu 5.10.2020, saatavilla: <https://smy.fi/sanasto/sellu-selluloosa-pulp/>

- Mogu, Mycelium, viitattu 24.9.2020, saatavilla: <https://mogu.bio/technology/>
- Muoviteollisuus ry, Muovisanastoa, viitattu 10.7.2020, saatavilla: <https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/sanasto/>
- NCC, Suomen NCC:n ensimmäinen Joutsenmerkitty asuinkerrostalo, viitattu 14.5.2020, saatavilla: <https://www.ncc.fi/projektit/vav-kaskelantie-1-vantaa/>
- Pawlyn, M., 2010, Using nature's genius in architecture, TED salon London, (video) viitattu 12.10.2020, saatavilla: https://www.ted.com/talks/michael_pawlyn_using_nature_s_genius_in_architecture/transcript
- Properla, Exterior façade coating, viitattu 12.10.2020, saatavilla: <https://www.properla.co.uk/properla-facade-coating/>
- Ruokavirasto, E440 – Pektiniit, viitattu 15.4.2020, saatavilla: <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/elintarvikeala/valmistus/yhteiset-koostumusvaatimukset/elintarvikeparanteet/lisaaaineet/e-koodit/e440/>
- Sharklet, the Technology of Sharklet, viitattu 12.10.2020, saatavilla: <http://www.sharklet.com/our-technology/technology-overview/>
- Sisäilmäyhdistys ry, Mikrobikasvun edellytykset, viitattu 5.8.2020, saatavilla: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Mikrobi/Mikrobikasvun-edellytykset>
- Sto SEA, StoColor Lotusan, viitattu 12.10.2020, saatavilla: <https://www.sto-sea.com/en/about-sto/sto-innovations/stocolor-lotusan-/functional-principle.html>
- Synbio Powerhouse, viitattu 28.5.2020, saatavilla: <https://www.synbio.fi/>
- Team Stanford-Brown-RISD, Mission architecture ja Model, viitattu 7.8.2020, saatavilla: <http://2018.igem.org/Team:Stanford-Brown-RISD/MissionArchitecture> ja <http://2018.igem.org/Team:Stanford-Brown-RISD/Model>
- TED, Our organization, viitattu 24.9.2020, saatavilla: <https://www.ted.com/about/our-organization>
- Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Polttokennot ja vety, viitattu 19.3.2020, saatavilla: <https://www.vttresearch.com/fi/palvelut/polttokennot-ja-vety>
- Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Teollinen 3D-tulostus, viitattu 13.4.2020, saatavilla: <https://www.vttresearch.com/fi/palvelut/teollinen-3d-tulostus>
- The Mediated Mater Group, Aguahoja, viitattu 15.4.2020, saatavilla: <https://www.media.mit.edu/projects/aguahoja/overview/>
- The Mediated Matter Group, Designing for, with, and by nature, viitattu 2.4.2020, saatavilla: <https://www.media.mit.edu/groups/mediated-matter/overview/>
- Tieteen termipankki, katalyytti, viitattu 16.10.2020, saatavilla: <https://www.tieteentermipankki.fi/wiki/Nimitys:katalyytti>
- Työ- ja elinkeinoministeriö, Biopolttoaineet ja bionesteet, viitattu 16.10.2020, saatavilla: <https://tem.fi/biopolttoaineet>
- UPM, UPM BioVerno -nafta korvaa fossiilisia raaka-aineita, viitattu 29.9.2020, saatavilla: <https://www.upmbiofuels.com/fi/liikenne-polttoaineet/upm-bioverno-nafta-polttoaine/>
- Ympäristömerkintä Suomi Oy, Rakentaminen, viitattu 14.5.2020, saatavilla: <https://joutsenmerkki.fi/teemat/rakentaminen/>
- Ympäristömerkintä Suomi Oy, Tietoa meistä, viitattu 14.5.2020, saatavilla: <https://joutsenmerkki.fi/tietoa-meista/>
- Ympäristöministeriö, CE-merkintä, viitattu 1.10.2020, saatavilla: <https://ym.fi/ce-merkinta>
- Ympäristöministeriö, Hallituksen ilmastopolitiikka: kohti hiilineutraalia Suomea 2035, viitattu 12.10.2020, saatavilla: <https://ym.fi/hiilineutraalisuomi2035>
- Ympäristöministeriö, Rakennustuotteiden tuotehyväksyntä, viitattu 1.10.2020, saatavilla: <https://ym.fi/rakennustuotteet>
- Ympäristöministeriö, Vähähiilisen rakentamisen tiekartta, viitattu 13.10.2020, saatavilla: <https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta>

LIITTEET

Tutkimussuunnitelma

Katariina Viero
Tekniikan kandidaatti
0400619596
katariina.viero@tuni.fi



Tutkimussuunnitelma

Diplomityöaiheeni on ”Biologian istuttaminen rakennuskulttuuriin: Biomateriaalien mahdollisuudet tulevaisuuden rakentamisessa”. Diplomityössä käydään läpi kolme eri näkökulmaa biologian ja arkkitehtuurin yhdistämiselle: biomimikikka, bioarkkitehtuuri ja biotulostus. Jokaisesta näkökulmasta nostetaan esille esimerkkinä innovatiivisia materiaaleja, valmistusmetodeja tai energianlähteitä, jotka käyttävät eläviä organismeja hyödykseen tai ovat vahvasti inspiroituneet luonnonkappaleiden käyttämästä tekniikasta. Esimerkit ovat peräisin viime vuosikymmenen aikana tehdyistä tiedejulkaisuista, artikkeleista ja teoksista. Näiden esimerkkien avulla analysoidaan biomimikikan, bioarkkitehtuurin ja biotulostuksen mahdollisuuksia tulevaisuuden rakentamisessa. Analyysien pohjalta suunnitellut prototyypit havainnollistavat innovaatioiden käytäntöä rakennuskannassa.

Tutkimuksella pyritään kasvattamaan tietoa biologian soveltamisen mahdollisuudesta arkkitehtuurissa. Tutkimusmetodina on teemahaastattelu, jossa kysymyksiä ei ole tarkkaan määriteltä, vaan haastattelija käy läpi ennalta määrittelemiään teemoja ja kysyy niiden pohjalta tarkentavia kysymyksiä (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka, 2006). Haastatteluissa käydään aiheen teemoja läpi eri alojen edustajien kanssa. Mukaan toivotaan asiantuntijoita luonnontieteiden ja tekniikan alalta, rakennusliikkeiden edustajia sekä valtion virkamiehiä. Tuloksena olisi tällöin monipuolisia tarkastelukulmia luonnontieteiden, tekniikan, rakentamisen ja hallinnon alalta.

Tutkimuksessa käydään läpi haastateltavien ennakkokäsityksiä ja mielipiteitä aiheesta ja siihen liittyvistä teemoista. Sen lisäksi jokaiselta haastateltavalta kysytään tarkentavia kysymyksiä, jotka ovat jääneet epäselviksi diplomityön teoriaosuuden lähteitä tutkiessa. Tarkentavat kysymykset ovat jokaiselle haastateltavalle yksilöllisiä.

Haastattelussa käytävät pääteemat ovat: vähähiilinen rakentaminen, biosynteettiset- ja luonnonmateriaalit rakentamisessa sekä päästöttömät energiamuodot rakennusten ylläpidossa.

Katariina Viero

Tampere 22.5.2020

Lähde:

Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A., 2006, KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto [verkkajulkaisu], Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto, <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/>, (Viitattu 21.5.2020)